

DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA MITIGACIÓN DEL  
RIESGO DE INUNDACIÓN URBANA, MEDIANTE TANQUES DE  
ALMACENAMIENTO EN UN SECTOR DEL SURORIENTE DE LA CIUDAD DE  
VALLEDUPAR- CESAR

*LUIS RAMÓN CUELLO MADURO*

*92.499.945*

UNIVERSIDAD DEL NORTE  
DIVISION DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BARRANQUILLA.

2017

DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA MITIGACIÓN DEL  
RIESGO DE INUNDACIÓN URBANA, MEDIANTE TANQUES DE  
ALMACENAMIENTO EN UN SECTOR DEL SURORIENTE DE LA CIUDAD DE  
VALLEDUPAR- CESAR

*LUIS RAMÓN CUELLO MADURO*

*92.499.945*

Trabajo de grado para optar el título de  
Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

*HUMBERTO AVILA RANGEL. Ph.D*

Docente Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Director del Instituto de Hidráulica  
e Ingeniería Ambiental - IDEHA, Universidad del Norte - Barranquilla.

UNIVERSIDAD DEL NORTE

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

BARRANQUILLA

2017

Nota de aceptación

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Presidente del jurado

\_\_\_\_\_

Jurado

\_\_\_\_\_

Jurado

Barranquilla, \_\_\_\_\_

## **Dedicatoria**

A quien beneficie.

*Luis Ramón*

## **Agradecimientos**

A los que me apoyaron.

## Resumen

En un sector del suroriente de la ciudad de Valledupar, capital del departamento del Cesar, entre las calles 28 y 44 y las carreras 5 y 7A, se han venido presentando algunos problemas de inundación, producto del aumento de los caudales generados por las aguas de lluvias que transitan por sus calles, las cuales ponen en peligro residencias y establecimientos comerciales e instituciones de ese sector, razón por la cual se realizará el presente trabajo de grado para optar el título de *Magíster en Ingeniería Ambiental* de la Universidad del Norte en Barranquilla, que abordará el problema desde el ámbito netamente académico y planteará alternativas de solución que permitan mitigar los riesgos de inundación de algunas calles del sector en estudio, mediante la incorporación de tanques de almacenamiento temporal de los caudales picos que garanticen su reducción.

Para abordar el problema y buscarle soluciones objetivas, en este trabajo se analizarán los impactos que generan las escorrentías que producen las aguas de lluvias en la zona de estudio, para lo cual no solo se modelará hidrológica e hidráulicamente sus calles y canales, sino que se incorporarán tanques de almacenamiento temporal de las crecientes picos en sitios estratégicos de la cuenca, de forma que permita reducir los caudales que finalmente llegan al canal de la calle 44, gran colector del sur de la ciudad de Valledupar.

Palabras clave: Drenaje urbano, gestión de aguas pluviales, sistemas urbanos de drenaje sostenibles, tanques de almacenamiento de aguas de lluvia.

## **Abstract**

In an area of the Southeast, within the city of Valledupar, capital of the department of Cesar, between 28th and 44th street and the 5th and 7A lanes, there has been a growing problem with flooding, due to the increase in rain water that has resulted in a increase of flow the streets have been flooding, threatening residential areas and commercial businesses, therefore this final graduate work will be completed to obtain the Master's Degree in Environmental Engineering from the University of North Barranquilla, it will approach the problem from a purely academic point of view and will consider alternative solutions that will lessen the risk of floods through the incorporation of storage tanks that will capture the runoff water, decreasing the water flow.

To address the problem and find objective solutions, the impact of these runoff currents will be analyzed to find where and why this rain water continues to flood the study area, a hydrological-hydraulic model of streets and canals will used with the temporary storage tanks in the high peaks of the basin to reduce the floods that reach the channel on 44th street which is the gran collector for the south side of Valledupar.

Key words: Urban drainage, storm water management, sustainable urban drainage systems, rainwater storage tanks.

## Tabla de Contenido

|  | Pág. |
|--|------|
| Introducción.....  | 18   |
| Justificación .....  | 20   |
| Objetivos.....   | 21   |
| 3.1 Objetivo general .....                                     | 21   |
| 3.2 Objetivos específicos.....                                 | 21   |
| Marco teórico.....   | 22   |
| 4.1 Sistemas tradicionales o convencionales .....              | 22   |
| 4.2 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible .....               | 23   |
| 4.2.1 Sistemas de techos verdes o cubiertas vegetalizadas..... | 27   |
| 4.2.2 Drenes filtrantes o franceses.....                       | 28   |
| 4.2.3 Cunetas verdes (Swales).....                             | 29   |
| 4.2.4 Zonas de biorretención .....                             | 30   |
| 4.2.5 Sumidero tipo alcorque inundable.....                    | 31   |
| 4.2.6 Superficies permeables.....                              | 31   |
| 4.2.7 Pondaje húmedo vegetado.....                             | 33   |
| 4.2.8 Tanques de almacenamiento de aguas de lluvias .....      | 34   |
| Información general del área de estudio.....                   | 38   |
| 5.1 Localización.....  | 38   |
| 5.2 Clima .....  | 41   |



|   |     |
|---|-----|
| 5.3 Relieve .....   | 42  |
| 5.4 Geología y geomorfología .....  | 43  |
| 5.5 Suelos.....   | 43  |
| 5.6 Recursos hídricos.....  | 44  |
| 5.7 Desarrollo urbano .....   | 44  |
| 5.8 Descripción del problema.....   | 45  |
| Material es y métodos.....  | 47  |
| 6.1 Materiales .....  | 47  |
| 6.1.1 Información documental e informática.....   | 47  |
| 6.1.2 Materiales de Campo. ....   | 47  |
| 6.2 Métodos .....   | 48  |
| Modelación de la es correntía pluvial.....  | 49  |
| 7.1 Análisis del comportamiento de las lluvias en el área del proyecto .....            | 50  |
| 7.1.1 Variables hidrológicas de la cuenca de drenaje .....                              | 50  |
| 7.1.1.1 <i>Características morfométricas de la cuenca</i> .....                         | 50  |
| 7.1.1.2 <i>Usos del suelo</i> .....   | 54  |
| 7.1.1.3 <i>Número de curva CN</i> .....   | 55  |
| 7.1.2 Tiempo de concentración (Tc) de la cuenca .....                                   | 56  |
| 7.1.3 Análisis de las precipitaciones en el área de estudio .....                       | 58  |
| 7.1.3.1 <i>Precipitación media mensual</i> .....  | 58  |
| 7.2 Modelado hidrológico-hidráulico de la cuenca de en estudio sin tanques .....        | 96  |
| 7.3 Diagnóstico de las condiciones actuales del drenaje pluvial de la zona de estudio . | 113 |
| 7.3.1 Caudales con Tr 5 años.....   | 113 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.3.2 Caudales con Tr 10 años.....                       | 114 |
| 7.3.3 Caudales con Tr 25, 50 y 100 años.....             | 115 |
| 7.4 Estrategias de uso de tanques de almacenamiento..... | 118 |
| Análisis de resultados de alternativas .....             | 135 |
| 8.1 Análisis de la alternativa 1.....                    | 135 |
| 8.2 Análisis de la alternativa 2.....                    | 136 |
| Conclusiones.....  | 140 |
| Referencias bibliográficas .....                         | 142 |

## Lista de tablas

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Información climatológica media mensual de Valledupar .....              | 42   |
| Tabla 2. Areas y pendientes de las subcuencas en estudio. ....                    | 52   |
| Tabla 3. Características morfométricas de las subcuencas en estudio. ....         | 54   |
| Tabla 4. Usos del suelo área del proyecto. ....                                   | 54   |
| Tabla 5. Usos del suelo por subcuencas. ....                                      | 55   |
| Tabla 6. Usos del suelo por estrato socioeconómico.....                           | 55   |
| Tabla 7. Tiempo de concentración y retardo de las subcuencas.....                 | 57   |
| Tabla 8. Precipitación media mensual multianual (mm) SP Aeropuerto A. López. .... | 59   |
| Tabla 9. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm) .....        | 62   |
| Tabla 10. Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas.....      | 63   |
| Tabla 11. Prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ).....                                   | 64   |
| Tabla 12. Frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas.....                  | 65   |
| Tabla 13. Resumen distribución de P máx (24hr) .....                              | 66   |
| Tabla 14. Resumen probabilidad de ocurrencia, P máx (24 hr) .....                 | 66   |
| Tabla 15. P máx (24 hr) para el mejor ajuste de distribución.....                 | 66   |
| Tabla 16. P máx (mm) para diferentes tiempos de duración de lluvia .....          | 68   |
| Tabla 17. Intensidad de la lluvia (mm/hr) a partir de Pd (mm) .....               | 68   |
| Tabla 18. Análisis de regresión para periodo de retorno de 1 año .....            | 69   |
| Tabla 19. Análisis de regresión para periodo de retorno de 2 años.....            | 70   |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 20. Análisis de regresión para periodo de retorno de 5 años.....         | 70 |
| Tabla 21. Análisis de regresión para periodo de retorno de 10 años.....        | 71 |
| Tabla 22. Análisis de regresión para periodo de retorno de 25 años.....        | 72 |
| Tabla 23. Análisis de regresión para periodo de retorno de 50 años.....        | 72 |
| Tabla 24. Análisis de regresión para periodo de retorno de 100 años.....       | 73 |
| Tabla 25. Resumen de aplicación de regresión .....                             | 74 |
| Tabla 26. Regresión potencial .....  | 74 |
| Tabla 27. Valores de Intensidad de lluvias (mm/hr). Duración 45 min .....      | 76 |
| Tabla 28. Valores de Intensidad de lluvias (mm/hr). Duración 90 min .....      | 76 |
| Tabla 29. Valores de Intensidad de lluvias (mm/hr). Duración 180 min .....     | 77 |
| Tabla 30. Hietograma para período de retorno de 1 año. Duración 45 min .....   | 79 |
| Tabla 31. Hietograma para período de retorno de 2 años. Duración 45 min.....   | 79 |
| Tabla 32. Hietograma para período de retorno de 5 años. Duración 45 min.....   | 79 |
| Tabla 33. Hietograma para período de retorno de 10 años. Duración 45 min.....  | 80 |
| Tabla 34. Hietograma para período de retorno de 25 años. Duración 45 min.....  | 80 |
| Tabla 35. Hietograma para período de retorno de 50 años. Duración 45 min.....  | 81 |
| Tabla 36. Hietograma para período de retorno de 100 años. Duración 45 min..... | 81 |
| Tabla 37. Hietograma para período de retorno de 1 año. Duración 90 min .....   | 82 |
| Tabla 38. Hietograma para período de retorno de 2 años. Duración 90 min.....   | 82 |
| Tabla 39. Hietograma para período de retorno de 5 años. Duración 90 min.....   | 83 |
| Tabla 40. Hietograma para período de retorno de 10 años. Duración 90 min.....  | 83 |
| Tabla 41. Hietograma para período de retorno de 25 años. Duración 90 min.....  | 84 |
| Tabla 42. Hietograma para período de retorno de 50 años. Duración 90 min.....  | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 43. Hietograma para período de retorno de 100 años. Duración 90 min.....      | 85  |
| Tabla 44. Hietograma para período de retorno de 1 año. Duración 180 min .....       | 86  |
| Tabla 45. Hietograma para período de retorno de 2 años. Duración 180 min.....       | 87  |
| Tabla 46. Hietograma para período de retorno de 5 años. Duración 180 min.....       | 88  |
| Tabla 47. Hietograma para período de retorno de 10 años. Duración 180 min.....      | 89  |
| Tabla 48. Hietograma para período de retorno de 25 años. Duración 180 min.....      | 90  |
| Tabla 49. Hietograma para período de retorno de 50 años. Duración 180 min.....      | 92  |
| Tabla 50. Hietograma para período de retorno de 100 años. Duración 180 min.....     | 93  |
| Tabla 51. Hietogramas con diferentes periodos de retorno. Duración 45 min .....     | 94  |
| Tabla 52. Hietogramas con diferentes periodos de retorno. Duración 90 min .....     | 94  |
| Tabla 53. Hietogramas con diferentes periodos de retorno. Duración 180 min .....    | 95  |
| Tabla 54. Parámetros de diseño y construcción actual del canal de la calle 44 ..... | 97  |
| Tabla 55. Hidrogramas generados con duración de lluvias de 45 min.....              | 103 |
| Tabla 56. Hidrogramas generados con duración de lluvias de 90 min.....              | 104 |
| Tabla 57. Hidrogramas generados con duración de lluvias de 180 min.....             | 105 |
| Tabla 58. Caudales máximos y volumen de escurrimiento si tanques .....              | 112 |
| Tabla 59. Volumen de almacenamiento tanque 1.....                                   | 120 |
| Tabla 60. Caudales en el tramo 1 con tanque en la glorieta del terminal .....       | 124 |
| Tabla 61. Caudales con todos los tanques. Tr 25 años .....                          | 129 |
| Tabla 62. Caudales con todos los tanques. Tr 50 años .....                          | 131 |
| Tabla 63. Caudales con todos los tanques. Tr 100 años .....                         | 133 |
| Tabla 57. Volúmenes de tanque respecto al tiempo de retorno.....                    | 137 |
| Tabla 58. Reducción de caudales con tanques en todas las subcuencas.....            | 137 |

## Lista de figuras

|   | Pág. |
|---|------|
| <i>Figura 1.</i> Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Cubiertas vegetadas .....      | 26   |
| <i>Figura 2.</i> Techos verdes. Instalaciones de la SDA Bogotá .....                    | 27   |
| <i>Figura 3.</i> Drenes filtrantes.....   | 28   |
| <i>Figura 4.</i> Cunetas vegetadas. ....  | 29   |
| <i>Figura 5.</i> Zonas de biorretención .....   | 30   |
| <i>Figura 6.</i> Sumidero tipo alcorque inundable.....                                  | 31   |
| <i>Figura 7.</i> Superficies permeables .....   | 32   |
| <i>Figura 8.</i> Pondaje húmedo vegetado .....  | 34   |
| <i>Figura 9.</i> Celdas y tanque de almacenamiento de aguas de lluvias. ....            | 36   |
| <i>Figura 10.</i> Mapa municipio de Valledupar .....                                    | 38   |
| <i>Figura 11.</i> Mapa de la ciudad de Valledupar .....                                 | 39   |
| <i>Figura 12.</i> Zonas de drenaje de la ciudad de Valledupar .....                     | 40   |
| <i>Figura 13.</i> Áreas de interés del presente trabajo .....                           | 41   |
| <i>Figura 14.</i> Cuenca sur de Valledupar.....   | 50   |
| <i>Figura 15.</i> Calle 28 con Avenida Salguero. ....                                   | 52   |
| <i>Figura 16.</i> Calle 31 con carrera 5.....   | 53   |
| <i>Figura 17.</i> Canal de la 44 – Glorieta terminal.....                               | 53   |
| <i>Figura 18.</i> Valores de CN por WinTR-55.....                                       | 56   |
| <i>Figura 19.</i> Distancia del proyecto a estación de SP del Aeropuerto A. López ..... | 58   |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Figura 20.</i> Variación multianual de la precipitación media .....                       | 60  |
| <i>Figura 21.</i> Variación de la precipitación media mensual.....                           | 60  |
| <i>Figura 22.</i> Curva de regresión para Tr 1 año .....                                     | 69  |
| <i>Figura 23.</i> Curva de regresión para Tr 2 años.....                                     | 70  |
| <i>Figura 24.</i> Curva de regresión para Tr 5 años.....                                     | 71  |
| <i>Figura 25.</i> Curva de regresión para Tr 10 años.....                                    | 71  |
| <i>Figura 26.</i> Curva de regresión para Tr 25 años.....                                    | 72  |
| <i>Figura 27.</i> Curva de regresión para Tr 50 años.....                                    | 73  |
| <i>Figura 28.</i> Curva de regresión para Tr 100 años.....                                   | 73  |
| <i>Figura 29.</i> Curva de regresión potencial .....   | 74  |
| <i>Figura 30.</i> Curvas de Intensidad, duración y frecuencia. Duración 180 min.....         | 78  |
| <i>Figura 31.</i> Hietograma de precipitación Tr 25 años. Duración 45 min .....              | 80  |
| <i>Figura 32.</i> Distribución intensidad de precipitación Tr 25 años. Duración 45 min.....  | 81  |
| <i>Figura 33.</i> Hietograma de precipitación Tr 25 años. Duración 90 min .....              | 84  |
| <i>Figura 34.</i> Distribución intensidad de precipitación Tr 25 años. Duración 90 min.....  | 84  |
| <i>Figura 35.</i> Hietograma de precipitación Tr 25 años. Duración 180 min .....             | 91  |
| <i>Figura 36.</i> Distribución intensidad de precipitación Tr 25 años. Duración 180 min..... | 91  |
| <i>Figura 37.</i> Glorieta del terminal e inicio del canal de la calle 44 .....              | 96  |
| <i>Figura 38.</i> Canal de la calle 44.....  | 97  |
| <i>Figura 39.</i> Canal de la calle 44. Tramo inicial .....                                  | 98  |
| <i>Figura 40.</i> Canal de la calle 44. Tramo intermedio.....                                | 99  |
| <i>Figura 41.</i> Canal de la calle 44. Tramo final.....                                     | 99  |
| <i>Figura 42.</i> Area de estudio .....  | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Figura 43.</i> Ingreso de datos en EPA-SWMM .....   | 101 |
| <i>Figura 44.</i> Esquema de los resultados de la modelación hidráulica en EPA-SWMM.....       | 102 |
| <i>Figura 45.</i> Hidrogramas de crecientes canal calle 44, tramos 1, 2 y 3. Duración 45 min . | 106 |
| <i>Figura 46.</i> Hidrogramas de crecientes canal calle 44, tramos 1, 2 y 3. Duración 90 min . | 106 |
| <i>Figura 47.</i> Hidrogramas de crecientes canal calle 44, tramos 1, 2 y 3. Duración 180 min  | 107 |
| <i>Figura 48.</i> Hidrograma de crecientes Tr 5 años, tramos 1, 2 y 3 canal calle 44 .....     | 108 |
| <i>Figura 49.</i> Hidrograma de crecientes Tr 10 años, tramos 1, 2 y 3 canal calle 44 .....    | 108 |
| <i>Figura 50.</i> Hidrograma de crecientes Tr 25 años, tramos 1, 2 y 3 canal calle 44 .....    | 109 |
| <i>Figura 51.</i> Hidrograma de crecientes Tr 50 años, tramos 1, 2 y 3 canal calle 44 .....    | 109 |
| <i>Figura 52.</i> Hidrograma de crecientes Tr 100 años, tramos 1, 2 y 3 canal calle 44 .....   | 110 |
| <i>Figura 53.</i> Hidrograma de crecientes tramos 1 (T1) .....                                 | 110 |
| <i>Figura 54.</i> Hidrograma de crecientes tramos 2 (T2) .....                                 | 111 |
| <i>Figura 55.</i> Hidrograma de crecientes tramos 3 (T3) .....                                 | 111 |
| <i>Figura 56.</i> Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 5 años.....          | 114 |
| <i>Figura 57.</i> Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 10 años.....         | 115 |
| <i>Figura 58.</i> Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 25 años.....         | 116 |
| <i>Figura 59.</i> Resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 50 años .....                | 117 |
| <i>Figura 60.</i> Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 100 años.....        | 117 |
| <i>Figura 61.</i> Ubicación del tanque 1- T1 .....   | 121 |
| <i>Figura 62.</i> Esquema de resultados con EPA-SWMM, con Tr25 años.....                       | 122 |
| <i>Figura 63.</i> Esquema de resultados con EPA-SWMM, con Tr 50 años.....                      | 122 |
| <i>Figura 64.</i> Esquema de resultados con EPA-SWMM, con Tr100 años.....                      | 123 |
| <i>Figura 65.</i> Hidrograma Tr 25 – 100 años. Tramo 1 con y sin tanque.....                   | 125 |



|  |     |
|--|-----|
| <i>Figura 66.</i> Hidrograma Tr 25 años. Tramo 1 con y sin tanque .....        | 125 |
| <i>Figura 67.</i> Hidrograma Tr 50 años. Tramo 1 con y sin tanque .....        | 126 |
| <i>Figura 68.</i> Hidrograma Tr 100 años. Tramo 1 con y sin tanque .....       | 126 |
| <i>Figura 69.</i> Ubicación de los tanques dentro de la cuenca .....           | 128 |
| <i>Figura 70.</i> Modelación en EPA-SWMM con tanques dentro de la cuenca ..... | 128 |
| <i>Figura 71.</i> Hidrogramas con y sin tanque. Tr 25 años .....               | 130 |
| <i>Figura 72.</i> Hidrogramas con y sin tanque. Tr 50 años .....               | 132 |
| <i>Figura 73.</i> Hidrogramas con y sin tanque. Tr 100 años .....              | 134 |

## **Introducción**

El crecimiento de las áreas urbanas, se debe en su mayoría a la migración de las personas desde las áreas rurales, por la necesidad de mejorar su calidad de vida, dándose el caso en la actualidad que más del 58% de la población mundial vive en ellas (la población mundial urbana ha crecido del 36.45% en el año 1960, hasta el 58.44% en el 2015)<sup>1</sup>.

Colombia, el departamento del Cesar y en especial su capital Valledupar, no son ajenos a esta situación, encontrándose que para el caso de esta capital, más del 82% de la población municipal se encuentra asentada en su cabecera<sup>2</sup>.

El crecimiento y desarrollo de la ciudad de Valledupar, así como el de cualquier ciudad del país o del mundo, ha exigido altas inversiones en planeación e infraestructuras, siendo la mayoría de éstas, en vías de comunicación, en telecomunicaciones, en zonas verdes, en parques, en centros educativos, en hospitales y en redes para el suministro de agua potable, alcantarillado y gas domiciliario, entre otras, sin embargo el uso de ellas y el normal desarrollo de las actividades humanas, están condicionadas al correcto funcionamiento de las redes de drenaje pluvial, especialmente en épocas de lluvia, porque en la medida en que la ciudad se impermeabiliza, mejorando la movilidad y el bienestar de sus habitantes, se incrementa la escorrentía superficial por sus vías, constituyéndose muchas veces en el factor limitante que puede frenar el desarrollo en algunos de sus sectores.

---

<sup>1</sup> Banco Mundial. (2016). Población urbana (% del total). 22/08/2016, Banco Mundial Sitio web: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?view=map>

<sup>2</sup> Alcaldía de Valledupar – Cesar. Sitio web Oficial de Valledupar en Colombia. Indicadores de población.

Esta situación se está presentando en Valledupar, específicamente en un sector del suroriente de la ciudad, ubicado entre las calles 28 y 44, y entre las carreras 5 y 7A, donde se han encontrado algunos problemas de inundación que ha ocasionado inconvenientes de movilidad, daños a las redes de drenaje existente y afectaciones a propiedades públicas y privadas; desmejorando la calidad de vida de sus habitantes y en general de la población de esta ciudad. Es por ello que con el presente trabajo de grado se pretende diagnosticar esta situación y mediante análisis de alternativas con el uso de tanques de almacenamiento temporal de los caudales máximos o picos, ubicados en sitios específicos de la cuenca, permitir mitigar los riesgos de inundación que sufre ese sector de la ciudad.

Es importante resaltar que el presente trabajo de grado se hace desde el ámbito netamente académico y no pretende demostrar, ni afirmar que las alternativas propuestas y ejecutadas por las administraciones del municipio, han fallado en el intento, por el contrario, este estudio se plantea como un aporte a la ciudad, de forma que garantice, en conjunto con las obras ejecutadas, mejoras en el comportamiento de las escorrentías en el sector en estudio y en general de la ciudad, de manera que se disminuyan los problemas de inundación que hoy se presentan y que se seguirán presentando en el futuro inmediato, debido no solo al cambio climático, sino a los cambios en el uso del suelo que han permitido el crecimiento y aumento de las zonas impermeables de la ciudad.

### **Justificación**

El aumento en los caudales de las aguas de lluvia en las calles de Valledupar, producto del incremento de sus áreas impermeables, debido a la pavimentación de vías, construcción de andenes, parques con canchas deportivas pavimentadas, cubiertas impermeables en viviendas y locales comerciales e industriales, entre otros, y que han permitido reducir las infiltraciones naturales, ha generado problemas de inundación en un sector del suroriente de la ciudad, ocasionando daños a sus vías, a la red de drenaje existente, a propiedades públicas y privadas y en general, desmejorando la movilidad y la calidad de vida de sus habitantes.

Es por ello que con el presente trabajo de grado, basado en el estudio y análisis de una situación real de la ciudad, se pretende, desde el ámbito netamente académico, realizar un diagnóstico de las condiciones de drenaje pluvial del área en estudio y proponer alternativas de solución con el uso de tanques de almacenamiento temporal de los caudales picos, para mitigar los permanentes riesgos de inundación que presenta el sector suroriental de Valledupar. Para esto se deberán realizar modelaciones hidrológicas e hidráulicas que incluyan, no solo las calles y canales del sector en estudio, sino tanques de almacenamiento temporal de las aguas de lluvias, ubicados en sitios estratégicos de la cuenca, de manera que permitan evaluar y entender el comportamiento de la escorrentía pluvial en esa zona de la ciudad y garantizar así las soluciones al problema en estudio.

## **Objetivos**

### **3.1 Objetivo general**

Realizar el diagnóstico de las condiciones de drenaje pluvial y plantear alternativas de solución orientadas al almacenamiento temporal de los caudales, que mitiguen el riesgo de inundación de un sector del suroriente de la ciudad de Valledupar, departamento del Cesar.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Analizar las condiciones hidrológicas de la cuenca aportante al área en estudio.
- Estimar los caudales para distintos períodos de retorno, mediante el uso de un modelo hidrológico-hidráulico de la cuenca en mención.
- Realizar el diagnóstico de las condiciones actuales del drenaje pluvial del área de estudio.
- Establecer estrategias de planificación, orientadas al almacenamiento temporal de los caudales picos mediante tanques, de manera que se garantice la reducción de estos caudales y por tanto se mitiguen los riesgos de inundación en el sector en estudio.

## **Marco teórico**

Se fundamenta en las alternativas de control y mitigación de las inundaciones urbanas, no solo mediante los sistemas convencionales, consistentes en canales abiertos y colectores que permiten el tránsito de grandes caudales; sino los no convencionales, basados en los Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles SUDS, usados ampliamente a nivel mundial y cuya filosofía consiste en reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana, con el objeto de mitigar tanto los problemas de cantidad, como de calidad de las escorrentías, minimizando los impactos del desarrollo y maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales<sup>3</sup>. Estos sistemas se describirán haciendo énfasis en los tanques para el almacenamiento temporal de los caudales picos que generan las lluvias en el área del proyecto y sobre los cuales apoyaremos este trabajo.

### **4.1 Sistemas tradicionales o convencionales**

El crecimiento de las zonas impermeables en las ciudades modifica los flujos naturales del ciclo hidrológico, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. El aumento de la impermeabilidad redunda en una reducción de la infiltración. Como consecuencia de ello, se generan volúmenes de escorrentía netamente mayores y además, se aceleran los tiempos de respuesta, por lo que aumentan el riesgo de inundaciones<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid. Criterios bioclimáticos y de eficiencia energética. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid. Madrid Julio 2009, p.81

<sup>4</sup> Ibid., p.82

En las ciudades, la gestión de las aguas pluviales se centra principalmente en un esquema tradicional con captación rápida, transporte y descarga de las escorrentías de estas aguas, que reducen el tiempo de concentración y aumentan los flujos máximos (Secretaría Distrital de Ambiente 2011, citado por Avila et al, 2016<sup>5</sup>). Estos esquemas tradicionales de drenaje pluvial, compuestos por redes de colectores, tuberías o canales que funcionan en su mayoría a flujo libre, en donde el líquido circulante presenta una superficie sobre la cual rige la presión atmosférica, permiten evacuar hacia las fuentes receptoras, las escorrentías generadas por las aguas de lluvia.

#### **4.2 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible**

Con el ánimo de darle un marco conceptual y técnico al presente documento, referente al objetivo planteado, en primera instancia se hace necesario conocer los estudios y avances realizados a nivel nacional e internacional, respecto a los Sistemas urbanos de Drenaje Sostenible SUDS y en segundo lugar, describirlos en su contexto general, haciendo énfasis en los tanques de almacenamiento temporal de los caudales picos.

A nivel nacional se desarrolló un primer estudio contratado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y cuyo objeto fue la “factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad de Bogotá”, que fue la línea base para el documento “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible” desarrollado por la Secretaría Distrital de Ambiente, el cual aborda de manera conceptual el tema de los SUDS.

---

<sup>5</sup> Almacenamiento disperso como control de la escorrentía pluvial en cuencas urbanas consolidadas con riesgo de inundaciones repentinas. Avila et al, 2016, p.1

La norma técnica NS-085 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, que define las directrices para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario de esa ciudad, reconoce los SUDS como un sistema que presenta ventajas sobre los sistemas convencionales y define textualmente que “son el conjunto de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas de lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando así sobredimensionamientos o ampliaciones innecesarias en el sistema. La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana<sup>6</sup>”.

En el mismo documento, se plantea que a nivel internacional los sistemas urbanos de drenaje sostenible, están concebidos como un componente integral dentro de la concepción del manejo de la escorrentía que se genera dentro de los procesos de urbanización. Esta filosofía de manejo consiste en buscar reproducir con la mayor fidelidad posible las características del ciclo hidrológico natural presente en la zona a desarrollar, una vez el proceso de urbanización haya tenido lugar. Más en detalle, las regulaciones establecidas en muchas regiones del mundo, establecen que una vez se adelanta el proceso de urbanización, los caudales provenientes de escorrentía pluvial que deben entregarse en los cuerpos de agua receptores, no deben exceder los caudales que generaba originalmente la zona desarrollada en sus condiciones de pre desarrollo.

Esta filosofía de diseño es la que obliga a la implantación de sistemas de detención de las aguas de lluvias, como por ejemplo los sistemas de pondaje, con el objetivo específico

---

<sup>6</sup> Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Bogotá, 2011, p.13.



de disminuir picos de caudal de las zonas urbanizadas, hasta los valores naturalmente generados antes de su urbanización. Nótese entonces como la necesidad de utilizar sistemas de detención se hizo fundamentalmente con el objetivo claro de disminuir la posibilidad de tener inundaciones causadas por el cambio en la permeabilidad de las superficies.

No obstante, la implementación de estos criterios de detención de la escorrentía generada, permitió con el paso de tiempo, descubrir sus ventajas con respecto a su capacidad para remover contaminantes. Esta capacidad está asociada a la sedimentación del material particulado proveniente del lavado de superficies, a diversos procesos de remoción de contaminantes a través de la vegetación utilizada con fines paisajísticos, y a la capacidad natural de infiltración de los suelos en los que se construyen estos sistemas.

Con esto en mente, los objetivos encontrados con los sistemas de detención se han ido progresivamente ampliando hacia otras tecnologías alternativas, tales como la bioretención, el filtrado de aguas de lluvias y la implantación de humedales artificiales en donde, como siempre, se busca cumplir simultáneamente con los objetivos de mitigación de picos de crecienta y mejorar la calidad del agua de la escorrentía. No obstante, la adopción de criterios con fines de diseño y regulación de las diferentes tipologías de SUDS por parte de diferentes entidades ambientales y territoriales se ve claramente influenciada por el nivel de conocimiento que se tenga de su desempeño real.

Con esto en mente, la adopción de SUDS en el medio colombiano, deberá necesariamente pasar por la adaptación de las tecnologías ya utilizadas en otras partes del mundo a nuestras condiciones locales, con el fin de evolucionar con el tiempo hacia una normatización técnica propia, que involucre la especificación a utilizar en temas tales como, la composición granulométrica de los medios filtrantes, su profundidad,

configuración de drenaje, vegetación a utilizar y necesidades de mantenimiento, temas que hoy en día aún son también objeto de debate en otras partes del mundo<sup>7</sup>.

El documento “Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid”, plantea que en la actualidad está ampliamente reconocido a nivel mundial, que se necesita un cambio en la manera de gestionar el agua de lluvia en entornos urbanos. No es suficiente con proteger la ciudad contra inundaciones, sino que se ha de tener en cuenta el efecto que las escorrentías generadas y transportadas aguas abajo, producen en el medioambiente, junto con los múltiples efectos colaterales que conlleva<sup>8</sup>.

La necesidad que nuestro desarrollo sea verdaderamente sostenible y respetuoso con el medio ambiente, ha hecho que en multitud de países emerja con fuerza el empleo de los SUDS, los cuales engloban un amplio espectro de soluciones, que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales, dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos.



*Figura 1. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Cubiertas vegetadas*

Fuente: <https://www.ecointeligencia.com/2013/02/chicago-techos-verdes/>

<sup>7</sup> Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Op. cit., p.15

<sup>8</sup> Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid. Op. cit., p.82-83

Seguidamente se describirán algunas de las tipologías de los SUDS más usados a nivel mundial y nacional y sobre los cuales direccionaremos el presente trabajo, enfocándolo en los tanques para el almacenamiento temporal de los caudales picos que generan las lluvias.

#### **4.2.1 Sistemas de techos verdes o cubiertas vegetalizadas**

En el documento “Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid” anteriormente relacionado, se menciona que los techos verdes deberán mitigar el pico de crecientes asociados con eventos de precipitación con periodos de retorno de 2 años. La vegetación a utilizar deberá estar en condiciones de soportar periodos alternados de humedecimiento y secado, al igual que con periodos de calor y frío. Deberá ser perene, resistente a la sequía, con poco requerimiento de agua después de que ya se encuentra establecida, con preferencia por suelos bien drenados, autosustentable (es decir, que no requiera de fertilizantes o herbicidas). La variedad de plantas a utilizar deberá ser lo más amplia posible para favorecer la biodiversidad y la estética del techo terminado.



*Figura 2. Techos verdes. Instalaciones de la SDA Bogotá*

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, SDA. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

#### 4.2.2 Drenos filtrantes o franceses

En el mismo escrito, a página 20, se plantea que los drenos filtrantes o franceses están conformados por excavaciones poco profundas, entre 1 y 2 m, rellenos con materiales pétreos gruesos o materiales plásticos geocelulares que pueden ser utilizados como elementos alternativos a los materiales pétreos si permiten una adecuada retención y almacenamiento de la escorrentía, que crean almacenamiento temporal subsuperficial. Estos elementos pueden captar lateralmente la escorrentía proveniente de vías, o de un colector que previamente haya recolectado aguas pluviales no circuladas con anterioridad a través de otro sistema SUDS. Deberán tener superficies cóncavas que permitan la concentración de la escorrentía hacia el centro del elemento. Pueden ser vegetados o no, en cuyo caso debe disponerse de un geotextil filtrante en las capas superiores del material de relleno, que separe la franja de suelo que soporta la vegetación del resto del material granular, mientras que simultáneamente se garantice la percolación adecuada del agua en superficie.



*Figura 3. Drenos filtrantes*

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, SDA. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

### 4.2.3 Cunetas verdes (Swales)

Estos elementos consisten en canales vegetalizados por donde se transporta la escorrentía proveniente de las zonas impermeables. Se conciben fundamentalmente como herramientas para la retención de basuras gruesas y sólidos suspendidos, en donde además se favorece la remoción de contaminantes. Se podrán diseñar como canales abiertos en flujo permanente con números de Manning correspondientes a canales vegetados.

Las cunetas verdes deberán diseñarse con velocidades menores a 1.0 m/s con el fin de prevenir la posible erosión del terreno y en general, se deberá propender por mantener la velocidad de flujo alrededor de 0.3 m/s con el fin de promover la remoción de contaminantes, la sedimentación del material particulado y evitar su resuspensión.

Las pendientes laterales deberán ser no mayores a 1:3 y el ancho de fondo no menor de 0.5 m con el fin de evitar daños a vehículos que accidentalmente accedan a las cunetas verdes. Estas cunetas no deberán ubicarse en terrenos con pendientes menores al 4%<sup>9</sup>.



*Figura 4. Cunetas vegetadas.*

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, SDA. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

<sup>9</sup> Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Bogotá, 2011, p.21, 22



#### 4.2.4 Zonas de biorretención

Sobre estos SUDS, que también son llamados filtros de biorretención, el documento Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible de la alcaldía Mayor de Bogotá, plantea que son zonas deprimidas poco profundas, en las que normalmente se dispone de un sistema tricapa con dren inferior y cuyo funcionamiento dependen de la composición relativa de los suelos del sistema tricapa, con mezclas especialmente diseñadas para permitir la remoción de contaminantes y disminuir los picos de caudal. Una vez la escorrentía ha sido transitada a través de esta tipología de SUDS, el agua es conducida hacia las redes de alcantarillado pluvial.

Las áreas de drenaje de los sistemas de biorretención se limitan a un máximo de dos hectáreas. Áreas más grandes podrán ser drenadas a través de esta tipología, siempre y cuando la profundidad de los sistemas diseñados no implique la inundación del SUDS por la presencia de niveles freáticos altos. El caudal asociado deberá evacuarse en un periodo de menos de 24 horas, con el fin de proveer al sistema la capacidad de transitar eventos de precipitación separados en promedio un día.



*Figura 5. Zonas de biorretención*

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, SDA. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

#### 4.2.5 Sumidero tipo alcorque inundable

Estos elementos son fundamentalmente zonas de biorretención que se usan como apoyo al sistema de captación de aguas de lluvias en vías, a través de sumideros laterales convencionales, tal como lo revela el documento Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible de la alcaldía Mayor de Bogotá.



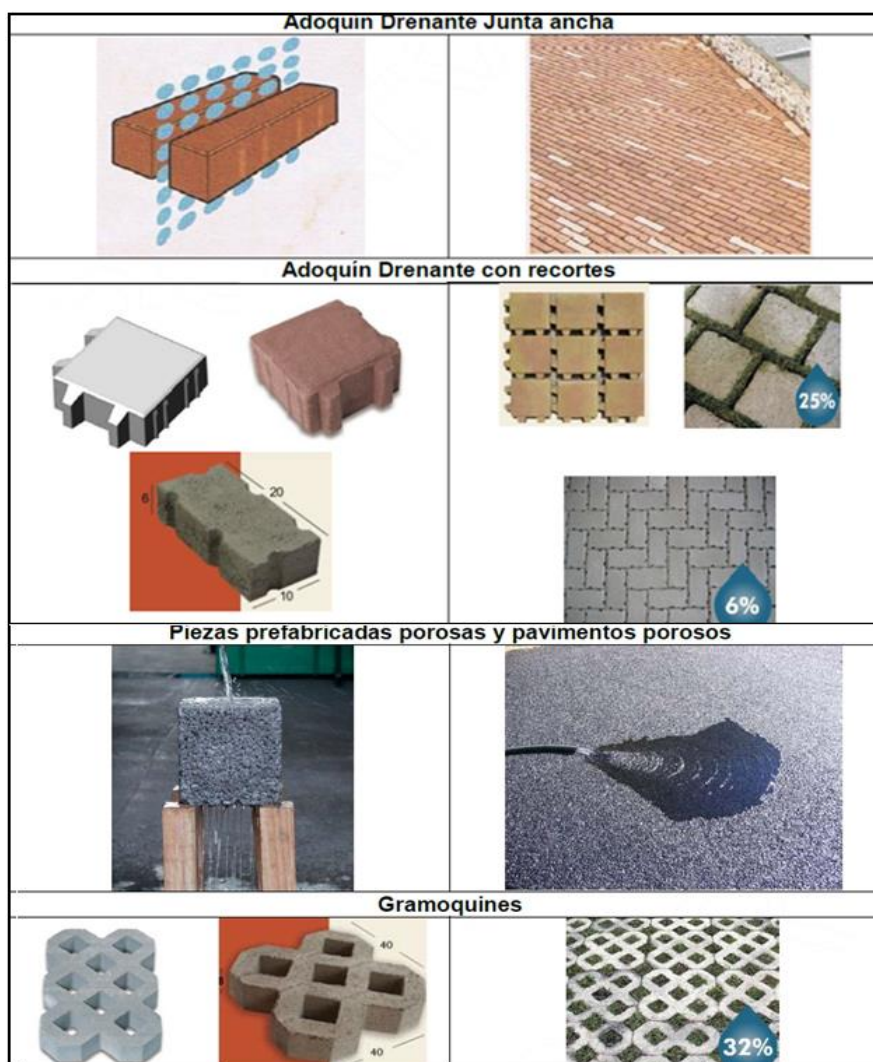
*Figura 6. Sumidero tipo alcorque inundable.*

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, SDA. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

#### 4.2.6 Superficies permeables

Las superficies permeables proporcionan un medio propicio para el tráfico peatonal o vehicular, permitiendo simultáneamente la percolación de las aguas de lluvias a las capas inferiores de la estructura de pavimento. El objetivo de este SUDS consiste fundamentalmente en almacenar el agua de lluvia percolada temporalmente, disminuyendo así la cantidad de esorrentía que de otra manera quedaría en superficie.

De preferencia, deberán estar conformadas por superficies de grava, por concreto o asfalto poroso, o por pavimentos articulados con gran separación entre unidades individuales con el fin de facilitar el paso del agua hacia las capas inferiores<sup>10</sup>.



*Figura 7. Superficies permeables*

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, SDA. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

<sup>10</sup> Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Op. cit., p.25-27



#### **4.2.7 Pondaje húmedo vegetado**

En esta tipología de SUDS se busca conformar un hábitat artificial, en donde se posee una lámina permanente de agua que es mantenida por medio del uso de una tubería de excesos elevada. El agua del cuenco permanente se mezcla con el agua de eventos anteriores de precipitación. Ante lluvia, el cuenco se llena y el agua es lentamente liberada por un periodo de 2 a 5 días. Debido a que las aguas de primer lavado se mezclan con las ya presentes al interior de la piscina permanente del SUDS, la concentración de contaminantes en el agua de salida es menor.

La existencia de una lámina de agua permanente permite la sedimentación del material particulado, así como la remoción de contaminantes vía actividad biológica de plantas, algas y bacterias presentes en la biota que se forma dentro de estos elementos. Esta tipología de SUDS puede emplearse siempre y cuando se garantice la presencia continua de agua que permita el soporte de la vegetación acuática en periodos secos. En general los requerimientos de área de este tipo de elementos, son mayores que para otras clases de SUDS, por lo que deberán usarse en lugares donde las necesidades de espacio no sean apremiantes (por ejemplo, en parques). El diseño de la profundidad de estos sistemas es crítico dado que cuencos muy poco profundos generarán corrientes superficiales que pueden generar resuspensión de sedimentos, mientras que por otro lado, profundidades muy grandes pueden generar estratificación térmica del agua o condiciones anóxicas que liberen contaminantes indeseables en el agua. De todas maneras, la profundidad del sistema no deberá exceder en ningún caso 1.5 m.



*Figura 8. Pondaje húmedo vegetado*

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, SDA. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

#### **4.2.8 Tanques de almacenamiento de aguas de lluvias**

Son tanques enterrados o no, que permiten la captación y almacenamiento de aguas de lluvia, con el fin de utilizarla con fines no potables, tales como el suministro de agua a sanitarios, orinales, lavado de vehículos y riego de jardines y zonas verdes o simplemente retenerla y entregarla regularmente a la infraestructura de drenaje existente o hacia una fuente receptora natural una vez ocurridos los picos de las crecientes o infiltrarla gradualmente al subsuelo, promoviendo así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas. Deberán diseñarse evitando que se conviertan en hábitat propicio para la reproducción de vectores y pueden captar agua bien sea procedente de cubiertas o de superficies duras. En este último caso, debe proveerse de un sistema adecuado que permita la remoción de grasas y de un sistema de filtrado adecuado que permita mejorar la calidad de las aguas afluentes para su uso posterior<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Op. cit., p.18

De acuerdo con Avila et al. (2016)<sup>12</sup>, los tanques de almacenamiento de agua de lluvia, han sido una alternativa ampliamente utilizado en el mundo, para manejar la escorrentía. En Australia, el uso de tanques se ha convertido en una importante estrategia en la reutilización del agua para riego, frente a los efectos del cambio climático (protección del medio ambiente y el patrimonio consejo et al. 2008), así como para reducir los contaminantes del agua de lluvia mediante filtros (Markowitz 2010). En algunos casos, el uso de las medidas de detención, se regula con una tasa equivalente a la descarga de escorrentía que drena el alcantarillado de aguas pluviales.

En el mismo documento Avila et al., menciona que los estudios realizados por Balmforth et al. (2006) mostraron reducciones de flujo máximo de hasta un 20% en una cuenca urbana de Birmingham, Londres, mediante el uso de tecnologías de drenaje sostenibles, demostrando su efectividad en el manejo de cuencas urbanas consolidadas.

Martínez C. Geinner<sup>13</sup> en su trabajo de grado plantea entre otras cosas, que en los últimos años el avance tecnológico y la constante innovación de materiales plásticos han dado origen a diversos elementos que reemplazan los tradicionales tanques de concreto, convirtiéndose en una buena alternativa a la hora de implementar y disponer de este tipo de solución.

Estos sistemas se componen por módulos individuales que pueden ser unidos para formar una estructura de gran tamaño, cada elemento esta hecho en plástico y tiene un

---

<sup>12</sup> Dispersed Storage as Stormwater Runoff Control in Consolidated Urban Watersheds with Flash Flood Risk. Avila et al, 2016, p.2-3

<sup>13</sup> Martínez C. Geinner. Sistemas urbanos de drenaje sostenible “SUDS” como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la ciudad de Palmira. Trabajo de grado par optar el título de ingeniero civil. Universidad militar Nueva Granada. Bogotá D.C. 2013, p.39-41

volumen de almacenamiento correspondiente a aproximadamente el 95% del volumen total, en la Figura 9 se observa las aplicaciones de este tipo de sistemas.



*Figura 9. Celdas y tanque de almacenamiento de aguas de lluvias.*

Fuente: Pavco.com.co y EAAB<sup>14</sup>

La ventaja de utilizar estos materiales es que tienen un peso liviano, por lo que pueden ser instalados manualmente. Sin embargo, esta característica también implica una limitación con respecto al uso del suelo que se encuentra por encima del sistema. En estos casos la zona debe limitarse a actividades de tráfico liviano.

El diseño de sistemas de almacenamiento temporal debe ser realizado teniendo en cuenta principalmente los impactos que estos generan a futuro. Entre los análisis que deben hacerse esta la definición de su ubicación y características, como la posibilidad de infiltrar agua almacenada al suelo. El primer paso en el diseño correspondiente a un análisis que permite determinar la necesidad de utilizar estos sistemas como estrategia de prevención de inundaciones. Esta parte del proceso es de gran importancia cuando se construyen sistemas

---

<sup>14</sup> Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Op. cit., p.18

que son capaces de almacenar gran volumen de agua y que son incorporados al interior de la red de drenaje urbano.

Las consideraciones generales o criterios de diseño que deben ser tenidas en cuenta al diseñar un tanque en concreto o un sistema constituido por módulos plásticos son los siguientes:

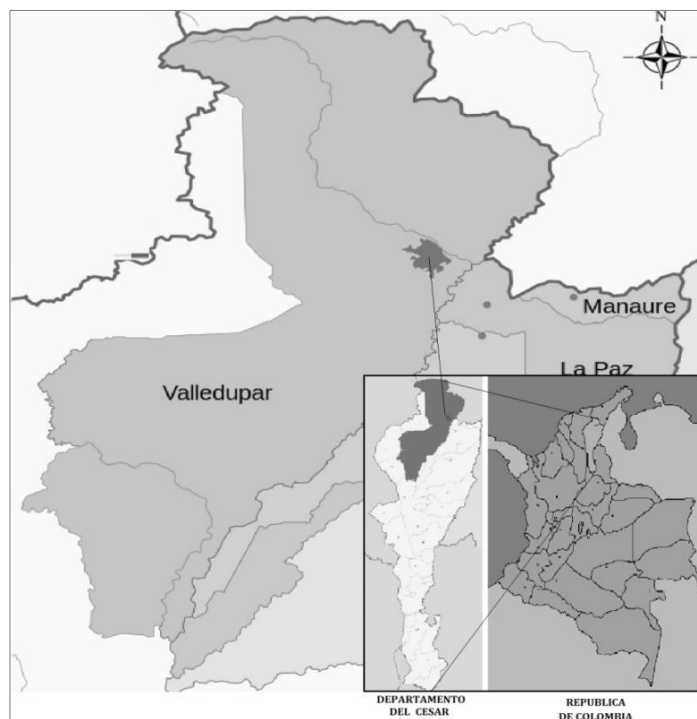
- Ubicación del sistema. Este tipo de almacenamiento debe ser ubicado en zonas donde posteriormente no se vaya a realizar ningún tipo de construcción, por tal razón se recomienda implementarlos en parques, zonas peatonales y zonas de parqueaderos.
- Infiltración. Solo es posible en sistemas compuestos por módulos, en este caso se debe conocer las propiedades físicas del suelo para saber si se debe considerar este aspecto en el diseño y dimensionamiento.
- Atenuación. Se debe analizar los volúmenes de entrada y salida estableciendo de esta forma el volumen de almacenamiento.
- Calidad del agua.
- Cargas del suelo.
- Conformación del relleno.

En síntesis, las tipologías de SUDS antes relacionadas, integran la infraestructura urbana, la hidráulica y el paisaje, entre otros, describen algunos de los sistemas que se están utilizando a nivel mundial, y que en nuestro país han empezado a implementarse muy discretamente, principalmente en la ciudad de Bogotá y puntualiza en los tanques de almacenamiento temporal de agua lluvias, objeto del presente trabajo.

## Información general del área de estudio

### 5.1 Localización

El área de estudio se localiza en la ciudad de Valledupar, capital del departamento del Cesar. El municipio de Valledupar se sitúa al nororiente de la costa Caribe Colombiana, a los 10° 29' de latitud Norte 73° 15' de longitud Oeste y 168 m.s.n.m, al pie de la Sierra Nevada de Santa Marta, en la margen derecha del río Guatapurí, valle del río Cesar, distante de Bogotá D.C capital de Colombia, unos 1,035 km. Tiene un área municipal de unos 4.493 km<sup>2</sup>, y está conformado por 25 corregimientos y 125 veredas<sup>15</sup>. Figura 10.

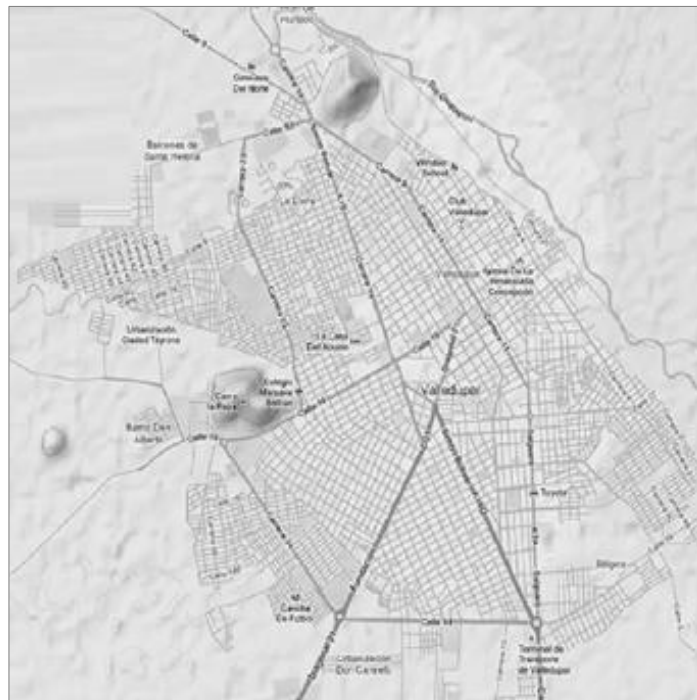


*Figura 10. Mapa municipio de Valledupar*

*Fuente: Wikipedia.*

<sup>15</sup> Wikipedia y Sitio web Oficial de Valledupar en Colombia. Indicadores de población

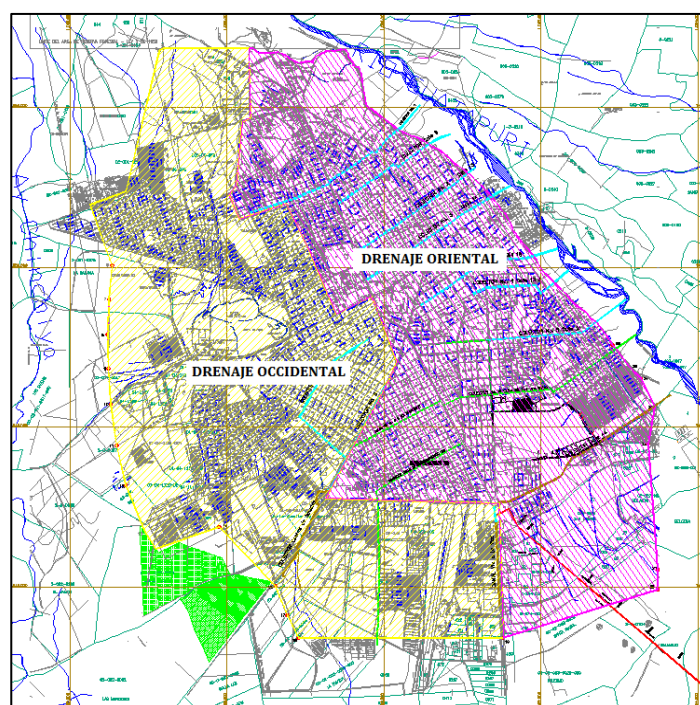
La ciudad (Figura 11) tiene una extensión de  $38.28 \text{ km}^2$  y es circundada de noroeste a sureste por el río Guatapurí, fuente principal de sus recursos hídricos. Valledupar no vierte naturalmente sus aguas de drenaje a esta corriente, sino en forma artificial a través de varias obras de alcantarillado pluvial, que permitieron que parte de la ciudad vertiera a ella, es así como a partir de estas obras, el sector oriental de Valledupar, con una superficie de  $18.76 \text{ km}^2$ , equivalente al 49.01% del área urbana y sanitaria de la ciudad, vierte sus aguas al río Guatapurí a través del colector No 1 de la calle 7B, colector No 2 de la calle 9, colector No 3 de la calle 13, colector No 4 de la calle 14, colector No 5 de la calle 18, colector No 6 de la calle 19E, colector No 7 de la calle 21 y el colector y canal de la calle 44 localizado en el extremo sur de la ciudad.



*Figura 11. Mapa de la ciudad de Valledupar*

*Fuente: Google Earth*

El sector occidental, con una superficie de 19.52 km<sup>2</sup>, equivalente al 50.99% del área urbana y sanitaria de la ciudad, es una zona bien drenada, menos habitada y en su mayoría vierte sus aguas a la acequia Las Mercedes, al arroyo El Manantial, al colector No 9 de la avenida Fundación y al colector No 10 de la diagonal 18 y transversal 29, todos afluentes del colector de la Central de Abastos, quien finalmente entrega al arroyo Manón, que confluye al río Cesar, al sur de la ciudad. La Figura 12 muestra las dos grandes áreas de drenaje de la ciudad.



**Figura 12.** Zonas de drenaje de la ciudad de Valledupar

*Fuente: Emdupar S.A E.S.P, Mapa digital de Valledupar y el autor.*

El área de estudio o de influencia directa del presente trabajo, es un sector del suroriental de la ciudad, con unas 132 hectáreas, ubicado entre las calles 28 y 44, y entre las carreras 7A y 5; comprende los barrios Cinco de noviembre, Los Mayales, Las Américas y Panamá (recuadro azul de la Figura 13), sobre el cual vierten directamente sus aguas los



barrios Simón Bolívar, Santa Rita, Doce de Octubre y Santa Rosa; a su vez, este sector descarga sus aguas sobre el canal de la calle 44 al sur de la ciudad, a donde drenan también los barrios Primero de mayo, Siete de agosto, Los Álamos, San Francisco, El Prado, Villa Leonor, San Martín, Manantial y Valle Mesa, entre otros, cubriendo un área de unas 600 hectáreas (recuadro rojo de la Figura 13).



*Figura 13. Áreas de interés del presente trabajo*

*Fuente: Google Earth*

## 5.2 Clima

El área de estudio y sus zonas de influencia, están clasificadas bioclimáticamente, según la metodología de L.R Holdridge, como un subsistema secundario de formación ecológica bosque seco tropical (bs-T), con enclaves de bosque seco premontano transición cálida (bs-PM), caracterizado por altas temperaturas, con valores promedios multianuales de 29.0 °C, máximo y mínimo absoluto de 30.0 °C y 27.8 °C en marzo y octubre respectivamente.

La humedad relativa en general es baja y al igual que la precipitación, está influenciada por los vientos secos que se desplazan desde La Guajira, a lo largo del corredor que forma la serranía del Perijá, con la vertiente oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta. La humedad relativa media mensual es del 67%, con un mínimo medio del 50% y máximo del 83%, en marzo y octubre respectivamente. La Tabla 1 presenta la información climatológica media mensual de Valledupar.

Tabla 1. Información climatológica media mensual de Valledupar

| Meses       | Temp.<br>(°C) | HR%  |      |      | Velocidad del<br>viento |        | HBS<br>(n) | P<br>(mm) | Ev (mm) |     | ETP<br>(mm/mes) |
|-------------|---------------|------|------|------|-------------------------|--------|------------|-----------|---------|-----|-----------------|
|             |               | Mín  | Med  | Máx  | (m/s)                   | (km/h) |            |           | mes     | día |                 |
| Enero       | 29.1          | 50.0 | 65.0 | 80.0 | 5.3                     | 19.0   | 9.1        | 13.5      | 242.7   | 7.8 | 186.9           |
| Febrero     | 29.7          | 50.0 | 60.0 | 70.0 | 5.8                     | 20.7   | 8.8        | 11.2      | 260.0   | 9.3 | 194.4           |
| Marzo       | 30.1          | 51.0 | 60.5 | 70.0 | 4.9                     | 17.5   | 7.9        | 36.3      | 282.4   | 9.1 | 208.8           |
| Abril       | 29.8          | 53.0 | 64.0 | 75.0 | 3.5                     | 12.8   | 6.8        | 122.5     | 238.9   | 8.0 | 174.3           |
| Mayo        | 29.0          | 60.0 | 70.0 | 80.0 | 1.7                     | 6.0    | 6.3        | 199.2     | 192.0   | 6.2 | 142.3           |
| Junio       | 29.2          | 63.0 | 71.0 | 79.0 | 2.3                     | 8.3    | 6.7        | 119.2     | 188.6   | 6.3 | 143.0           |
| Julio       | 29.8          | 55.0 | 65.5 | 76.0 | 3.1                     | 11.3   | 7.0        | 84.8      | 221.8   | 7.2 | 168.8           |
| Agosto      | 29.5          | 58.0 | 67.5 | 77.0 | 2.2                     | 7.8    | 6.9        | 134.8     | 207.8   | 6.7 | 156.4           |
| Septiembre  | 28.3          | 67.0 | 74.0 | 81.0 | 1.0                     | 3.6    | 6.2        | 149.2     | 177.2   | 5.9 | 125.8           |
| Octubre     | 27.8          | 68.0 | 75.5 | 83.0 | 0.7                     | 2.5    | 6.5        | 214.7     | 160.8   | 5.2 | 120.7           |
| Noviembre   | 28.1          | 65.0 | 72.0 | 79.0 | 2.7                     | 9.9    | 7.4        | 133.5     | 163.4   | 5.4 | 134.0           |
| Diciembre   | 28.5          | 57.0 | 68.5 | 80.0 | 4.8                     | 17.2   | 8.5        | 37.7      | 204.4   | 6.6 | 165.4           |
| Total/Media | 29.1          | 50.0 | 67.8 | 83.0 | 3.2                     | 11.4   | 7.3        | 1,256.6   | 2,540.0 | 7.0 | 1,920.9         |

### 5.3 Relieve

Valledupar es una ciudad que exhibe un relieve muy plano, con una ligera pendiente en dirección noroccidente – suroriente del 1.0%, tiene una altitud media de 168 m.s.n.m en la Plaza Alfonso López y va desde los 246 m.s.n.m al Norte en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Emdupar, hasta los 138 m.s.n.m al Sur, en el Aeropuerto Alfonso López. En la ciudad sobresalen dos cerros, uno llamado “Cicolac” al Nororiente, con una altitud de 330 m.s.n.m y el otro denominado "La Popa" al oeste, con 310 m.s.n.m.

## 5.4 Geología y geomorfología

De acuerdo con el informe principal del “*Proyecto Valledupar*” elaborado por el Consorcio Riego Guatapurí, dentro del contrato de consultoría 415 de 2007 suscrito con la Gobernación del Cesar, Valledupar está ubicada en el flanco sureste del macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta y parte central noroeste del valle del río Cesar, en la región afloran rocas metamórficas, rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas y rocas sedimentarias. Toda el área ha sido modelada por el Río Guatapurí, el cual se constituye en el principal eje fluvial regional, este valle cambia de un cañón estrecho en la zona de filos bajos, a un área de fondo plano en la parte baja, donde se encuentra un conjunto de abanicos de piedemonte que se extienden hasta la confluencia con el Río Cesar<sup>16</sup>.

## 5.5 Suelos

Según el estudio detallado de los suelos de Valledupar, elaborado por Tahal Consulting Engineers en 1969 y ampliado tanto por Consultores Civiles e Hidráulicos - C&H Ltda en 1992 y el Consorcio Riego Guatapurí en 2007<sup>17</sup>, los suelos de la ciudad son profundos, dominados por texturas moderadamente finas a medias, con evidenciadas limitaciones en su estructura (compactación – endurecimiento) que restringe el paso del agua. En profundidad esta característica es variable, dado que se encuentran suelos adecuadamente estructurados, que favorecen la retención y circulación del agua y el aire, hasta suelos con horizontes arcillosos endurecidos.

---

<sup>16</sup>Gobernación del Cesar. Consorcio Riego Guatapurí. Contrato de consultoría 415-2007. Valledupar 2007

<sup>17</sup> Incora. Tahal Consulting Engineers. Estudios de factibilidad de los proyectos de riego Valledupar y San Juan del Cesar. Valledupar 1969

## **5.6 Recursos hídricos**

La corriente más importante de Valledupar la constituye el río Guatapurí, el cual nace en la Sierra Nevada de Santa Marta, a unos 5.400 m.s.n.m y después de un recorrido de 86 km, desemboca al sur de la ciudad en la primera arteria del departamento, el río Cesar, a unos 124 m.s.n.m. Tiene una cuenca de 867 km<sup>2</sup>, con relieve variable, presentando altas pendientes en su origen y áreas planas en la parte baja donde desemboca.

En cuanto a las aguas subterráneas, el mencionado estudio hidrogeológico realizado por TAHAL en 1969 sobre el acuífero del área de Valledupar, estimó su potencial en 55 millones de metros cúbicos, pero para fines prácticos de utilización y como una medida de precaución sobre lo que podría ser el abatimiento del nivel freático, definió un volumen explotable de solo 20 millones de metros cúbicos, de los cuales tan solo 1.8 millones podrían extraerse durante el primer trimestre del año. Con el tiempo se ha visto la disminución de este potencial e importante recurso, no solo por su uso en explotaciones industriales y comerciales, sino porque su zona de recarga es la misma ciudad, que día a día ha disminuido sus áreas permeables.

## **5.7 Desarrollo urbano**

La ciudad de Valledupar desde sus inicios se ha desarrollado hacia el occidente, hacia el norte y hacia el sur, siendo limitada al oriente por el río Guatapurí. Se observa una densidad poblacional moderada y un crecimiento de manera horizontal, dado que inicialmente el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) solo permitía construcciones hasta de nueve pisos.

A través de los últimos 74 años, el pequeño pueblo de 3.200 habitantes que fue Valledupar en 1938, pasó a alojar una población de 368 mil en el 2013 y cerca de 400 mil habitantes en el 2016, lo que significa que durante el mismo período, la capital del Cesar se multiplicó por más de 100 veces<sup>18</sup>.

Todo este desarrollo urbano ha hecho de Valledupar una ciudad amable con sus habitantes, con excelentes vías, buenos servicios públicos y regular planificación urbana, permitiendo que día a día se incremente las áreas construidas y por ende las vías pavimentadas y en esencia la impermeabilización de la misma, trayendo consigo no solo mejoras en la movilidad y bienestar de sus ciudadanos, sino problemas de inundación en algunas de sus calles y barrios.

## **5.8 Descripción del problema**

En un sector de la ciudad de Valledupar, ubicado entre las calles 28 y 44 y las carreras 5 y 7A, se han venido presentando algunos problemas de inundación, producto del aumento de los caudales generados por las aguas de lluvias que transitan por sus calles, las cuales ponen en riesgo sus residencias y establecimientos comerciales e instituciones. El problema se acrecienta día tras día, porque en la medida en que en la ciudad se mejora la movilidad y el bienestar de sus habitantes con la pavimentación de sus vías y otros espacios, se disminuyen las zonas verdes y los terrenos naturales, haciendo que se incremente la escorrentía superficial por sus calles.

Es por ello que se analizará no solo el área directamente afectada, sino sus zonas de influencia, de forma que los impactos que generen las escorrentías que producen las aguas

---

<sup>18</sup> Wikipedia enciclopedia libre. Artículo sobre Valledupar, agosto de 2012

de lluvias, sean analizados con apoyo de un modelo hidrológico-hidráulico, que incluya, no solo las calles y canales del sector en estudio, sino tanques de almacenamiento temporal de las aguas de lluvias, en sitios estratégicos de la cuenca, de manera que permitan evaluar y entender el comportamiento de éstas y garantizar así las soluciones al problema en estudio.

## **Materiales y métodos**

### **6.1 Materiales**

Para el análisis del problema en estudio, se utilizó información documental e informática y materiales de campo, que permitieron obtener datos de interés para la elaboración de los modelos hidrológicos e hidráulicos de drenaje pluvial del entorno real de la zona en estudio.

#### **6.1.1 Información documental e informática**

Comprende entre otros, lo siguiente:

- Registros meteorológicos de la estación de Sinóptica principal del IDEAM, del Aeropuerto Alfonso López de Valledupar,.
- Mapas cartográficos, topográficos e imágenes satelitales de Valledupar.
- Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Valledupar.
- Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Valledupar.
- Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000
- Manual de drenaje para carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- Textos, manuales, reglamentos, normas técnicas y guías metodológicas relacionadas con el presente trabajo de grado.
- Software Office, EPA-SWMM 5 vE y Win TR55.

#### **6.1.2 Materiales de Campo.**

Comprende lo siguiente:

- Equipos de topografía y GPS, Sistema GPS RTK South S82V.

- Radios de comunicación y computadores

## 6.2 Métodos

La metodología se dividió en actividades de campo y actividades de oficina.

Las actividades de campo se fundamentaron principalmente en la realización de levantamientos topográficos de algunas calles del área en estudio, canal de la calle 44 y sus zonas de influencia, visitas de inspección ocular a las áreas afectadas y entrevistas a algunos de sus habitantes, con el objeto de conocer de viva voz los antecedentes de los problemas de inundación que padecen en las épocas de lluvias.

Las actividades de oficina consistieron en: análisis de información documental y de imágenes satelitales, donde se establecieron con apoyo de los levantamientos topográficos, las líneas de divorcio, las direcciones de las corrientes y las variables hidrológicas de la cuenca en estudio, así mismo se realizaron las modelaciones hidrológicas-hidráulicas en EPA-SWMM que permitieron determinar los caudales con tiempos de retorno de hasta 100 años y construir las alternativas de solución a los problemas de inundaciones presentados, para ello fue necesario realizar un análisis con lluvias máximas diarias con un rango de información promedio de 30 años, utilizando para ello la información de la estación de Sinóptica Principal (SP) del IDEAM, código SP-2803503, ubicada en el Aeropuerto Alfonso López de la ciudad de Valledupar, con las que se estimaron los diferentes hietogramas (usando para ello un modelo matemático en Excel) que se introdujeron en el modelo EPA-SWMM, para determinar así los hidrogramas, caudales y láminas de agua entre otros, con periodos de retorno de hasta 100 años.



### **Modelación de la escorrentía pluvial**

Para realizar el diagnóstico de las condiciones actuales del drenaje pluvial del área en estudio y establecer las estrategias de planificación orientadas al almacenamiento temporal de los caudales pico mediante tanques, se hizo necesario determinar el comportamiento de las aguas de lluvia, mediante un modelo hidrológico-hidráulico en EPA-SWMM a nivel de detalle en el área propiamente afectada, lo que permitió proponer las diferentes alternativas de solución para mitigar los riesgos de inundación en esa zona de Valledupar.

El Stormwater Management Model (SWMM) o modelo de gestión de aguas pluviales de la Environmental Protection Agency – EPA, es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos.

Swmm representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos de Swmm son los siguientes:

- Módulo de escorrentía que funciona con una serie de subcuencas, en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía.
- Módulo de transporte que analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.

- Módulo de calidad que permite seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada subcuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la concentración de un compuesto en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo .

## 7.1 Análisis del comportamiento de las lluvias en el área del proyecto

Para determinar los caudales con períodos de retorno de hasta 100 años, fue necesario realizar un análisis del comportamiento de las lluvias y del uso del Software EPA-SWMM.

### 7.1.1 Variables hidrológicas de la cuenca de drenaje

Se delimitó la cuenca aportante y se determinaron sus variables hidrológicas tales como área, longitud corriente principal, pendiente, usos del suelo, número de curva y otros.

#### 7.1.1.1 Características morfométricas de la cuenca

La zona de estudio es una cuenca urbana ubicada al sur de Valledupar, que descarga sus aguas de lluvia al canal de la calle 44. Figura 14.

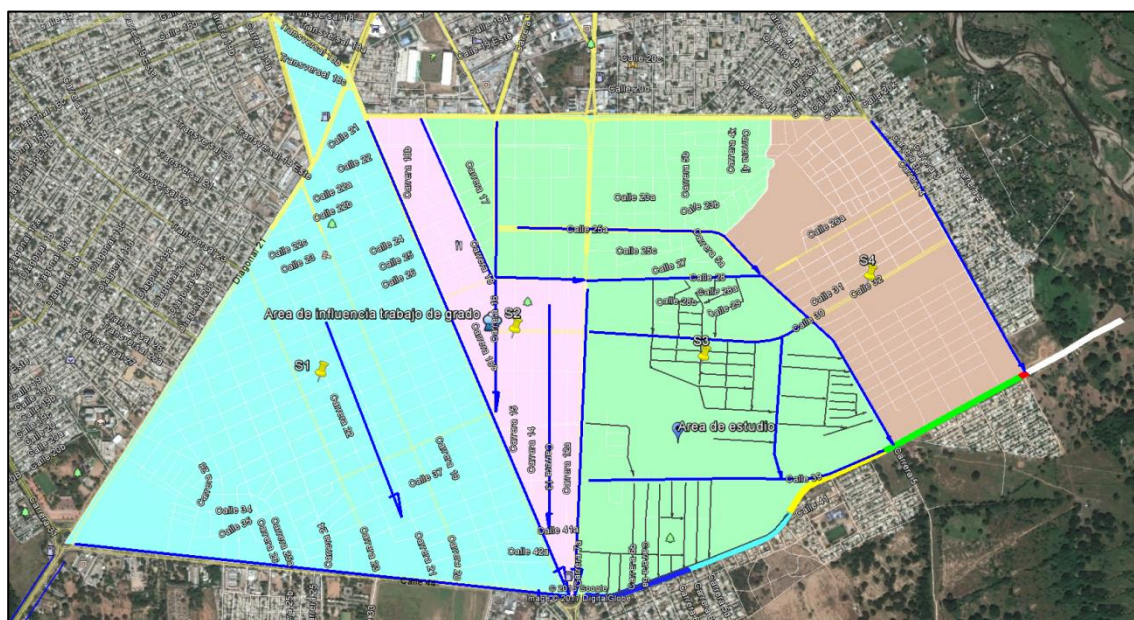


Figura 14. Cuenca sur de Valledupar.

Fuente: Google Earth

La cuenca tiene un área de 601.34 hectáreas ( $6.01 \text{ km}^2$ ) y se localiza entre la Diagonal 21 y la carrera 4 y entre las calles 21 y 44, delimitada por el colector de aguas de lluvias No 9 de la avenida Fundación, el colector No 5 de la calle 21 y el colector y canal de la calle 44. Internamente está subdividida por algunas vías y colectores de aguas de lluvias, que por su construcción se convirtieron en líneas divisorias de caudal que generaron varias subcuencas, tal como muestra la figura anterior. Estas subcuencas están delimitadas así:

➤ Subcuenca 1 (S1), color magenta en la Figura 14: Localizada entre la Diagonal 21 avenida Fundación al Oeste, la carrera 18D avenida Simón Bolívar, desde la Ceiba hasta la terminal de transporte al Este y la calle 44 Avenida Badillo al Sur. Con un área de 224.21 hectáreas y comprende los barrios Primero de Mayo, San Martín y Siete de agosto, entre otros.

➤ Subcuenca 2 (S2), color fucsia en la Figura 14: Localizada entre la carrera 18D avenida Simón Bolívar, desde la calle 21, hasta la terminal de transporte y la carrera 7A avenida Salguero, con un área de 67.05 hectáreas y comprende los barrios Simón Bolívar y Doce de octubre, entre otros.

➤ Subcuenca 3 (S3), color verde en la Figura 14: Localizada entre la calle 21 al Norte y la 44 al Sur y entre la carrera 18, calle 28 y carrera 7A al Oeste y carrera 5 al Este, con un área de 213.84 hectáreas y comprende los barrios San Jorge, Cinco de Noviembre, Villa Clara sur, Urbanización Los Mayales, Las Américas y barrio Panamá, etc. Parte de esta subcuenca es la que sufre los problemas de inundación y sobre la cual se montaran los modelos matemáticos en EPA-SWMM para determinar sus características hidrológicas e hidráulicas.

➤ Subcuenca 4 (S4), color café en la Figura 14: Localizada entre las carreras 4 y 5 y entre la calle 21 y el canal de la calle 44 (calle 39 en ese sector), con un área de 96.24 hectáreas y comprende los barrios Villa del Rosario y Los Cocos, entre otros.

La Tabla 2 muestra las áreas, longitudes y pendientes de cada una de las subcuencas que hacen parte integral de la cuenca sur de Valledupar.

Tabla 2. Areas y pendientes de las subcuencas en estudio.

| Subcuenca<br>No | Area (ha) | % Area  | Cotas |       | Desnivel<br>(m) | Longitud<br>(m) | Pendiente<br>(m/m) |
|-----------------|-----------|---------|-------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                 |           |         | Sup.  | Inf.  |                 |                 |                    |
| S1              | 224.21    | 37.28%  | 171.0 | 144.0 | 27.0            | 2,330.0         | 0.012              |
| S2              | 67.05     | 11.15%  | 165.0 | 144.0 | 21.0            | 2,260.0         | 0.009              |
| S3              | 213.84    | 35.56%  | 164.0 | 139.0 | 25.0            | 2,392.0         | 0.010              |
| S4              | 96.24     | 16.01%  | 152.0 | 138.0 | 14.0            | 1,470.0         | 0.010              |
| Total área      | 601.34    | 100.00% |       |       |                 |                 |                    |

Las imágenes 15 a 17, muestran algunos sitios dentro de la cuenca sur de Valledupar, que se ven afectados por las lluvias y sus incrementos de caudales, los cuales inciden directamente sobre el canal de la 44, colector principal de ese sector de la ciudad.



Figura 15. Calle 28 con Avenida Salguero.

Fuente: El autor



*Figura 16. Calle 31 con carrera 5*

Fuente: El autor



*Figura 17. Canal de la 44 – Glorieta terminal*

Fuente: El autor

Algunas características morfométricas de las diferentes subcuencas que componen la cuenca de drenaje sur, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características morfométricas de las subcuencas en estudio.

| Sub<br>cuenca | Area (A) |                 | Perímetro (P) |      | Longitud (L) |      | Ancho<br>medio (W) |      | $Kc = \frac{0.282P}{\sqrt{A}}$ | $Kf = W/L^2$ |
|---------------|----------|-----------------|---------------|------|--------------|------|--------------------|------|--------------------------------|--------------|
|               | ha       | Km <sup>2</sup> | m             | Km   | m            | Km   | m                  | Km   |                                |              |
| S1            | 224.21   | 2.24            | 7,563         | 7.56 | 2,330        | 2.33 | 962.3              | 0.96 | 1.42                           | 0.00018      |
| S2            | 67.05    | 0.67            | 5,020         | 5.02 | 2,260        | 2.26 | 296.7              | 0.30 | 1.73                           | 0.00006      |
| S3            | 213.84   | 2.14            | 7,277         | 7.28 | 2,392        | 2.39 | 894.0              | 0.89 | 1.40                           | 0.00016      |
| S4            | 96.24    | 0.96            | 4,410         | 4.41 | 1,470        | 1.47 | 654.7              | 0.65 | 1.27                           | 0.00030      |
| Total         | 601.34   | 6.01            |               |      |              |      |                    |      |                                |              |

De acuerdo con el coeficiente de compacidad, las subcuencas en estudio se clasifican como oval redonda a oval oblonga y en cuanto al factor de forma, los valores muestran unas cuencas de forma muy poco achatada, sujeta a crecidas menores.

#### 7.1.1.2 Usos del suelo

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial - POT de la ciudad de Valledupar, los usos del suelo predominante en la zona de influencia directa del proyecto, se muestran en las Tablas 4 y 5, la Tabla 6 el uso por estrato socioeconómico.

Tabla 4. Usos del suelo área del proyecto.

| N° | Usos del suelo       | Area (m2) | Area (ha) | % Area  |
|----|----------------------|-----------|-----------|---------|
| 1  | Residencial          | 3,732,500 | 373.25    | 62.07%  |
| 2  | Comercial            | 232,717   | 23.27     | 3.87%   |
| 3  | Industrial           | 1,036,102 | 103.61    | 17.23%  |
| 4  | Zonas verdes         | 395,374   | 39.54     | 6.57%   |
| 5  | Area de vías         | 452,205   | 45.22     | 7.52%   |
| 6  | Zonas de expansión   | 164,462   | 16.45     | 2.73%   |
|    | Total área subcuenca | 6,013,360 | 601.34    | 100.00% |



Tabla 5. Usos del suelo por subcuencas.

| Subcuenca<br>No | Area total     |        |         | Usos del suelo     | Area por usos del suelo |           |
|-----------------|----------------|--------|---------|--------------------|-------------------------|-----------|
|                 | m <sup>2</sup> | ha     | %       |                    | Area (m2)               | Area (ha) |
| S1              | 2,242,076      | 224.21 | 37.28%  | Residencial        | 1,391,659               | 139.17    |
|                 |                |        |         | Comercial          | 86,768                  | 8.68      |
|                 |                |        |         | Industrial         | 386,310                 | 38.63     |
|                 |                |        |         | Zonas verdes       | 147,415                 | 14.74     |
|                 |                |        |         | Area de vías       | 168,604                 | 16.86     |
|                 |                |        |         | Zonas de expansión | 61,319                  | 6.13      |
| S2              | 670,491        | 67.05  | 11.15%  | Residencial        | 416,175                 | 41.62     |
|                 |                |        |         | Comercial          | 25,948                  | 2.59      |
|                 |                |        |         | Industrial         | 115,526                 | 11.55     |
|                 |                |        |         | Zonas verdes       | 44,084                  | 4.41      |
|                 |                |        |         | Area de vías       | 50,421                  | 5.04      |
|                 |                |        |         | Zonas de expansión | 18,338                  | 1.83      |
| S3              | 2,138,350      | 213.84 | 35.56%  | Residencial        | 1,327,277               | 132.73    |
|                 |                |        |         | Comercial          | 82,754                  | 8.28      |
|                 |                |        |         | Industrial         | 368,438                 | 36.84     |
|                 |                |        |         | Zonas verdes       | 140,595                 | 14.06     |
|                 |                |        |         | Area de vías       | 160,804                 | 16.08     |
|                 |                |        |         | Zonas de expansión | 58,483                  | 5.85      |
| S4              | 962,443        | 96.24  | 16.01%  | Residencial        | 597,390                 | 59.74     |
|                 |                |        |         | Comercial          | 37,247                  | 3.72      |
|                 |                |        |         | Industrial         | 165,829                 | 16.58     |
|                 |                |        |         | Zonas verdes       | 63,280                  | 6.33      |
|                 |                |        |         | Area de vías       | 72,376                  | 7.24      |
|                 |                |        |         | Zonas de expansión | 26,322                  | 2.63      |
| Total           | 6,013,360      | 601.34 | 100.00% |                    | 6,013,360               | 601.34    |

Tabla 6. Usos del suelo por estrato socioeconómico.

| Nº    | Usos del suelo | Area (ha) | % Area  |
|-------|----------------|-----------|---------|
| 1     | E-2            | 351.78    | 58.50%  |
| 2     | E-3            | 205.66    | 34.20%  |
| 3     | E-4            | 43.90     | 7.30%   |
| Total |                | 601.34    | 100.00% |

### 7.1.1.3 Número de curva CN

CN es un número adimensional, que se calcula con el método desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de USA, para determinar la precipitación efectiva o escorrentía directa ( $Pe$ ), que toma en cuenta las condiciones de humedad antecedente y que puede determinarse empleando la información del uso y tipo de suelo.

Para la determinación del número de curva se utilizó el Software WinTR-55, “Hidrología de Pequeñas Cuencas”, desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), usando la categoría de áreas urbanas e introduciendo en ella los detalles del uso del suelo de las Tablas 4 y 5, que describe estos usos en cada una de las subcuencas analizadas. Los resultados se muestran en la siguiente imagen del software.

The image shows two windows from the WinTR-55 software. The 'WinTR-55 Main Window' on the left contains project identification data and a sub-area summary table. The 'Land Use Details' window on the right shows a table of land use categories and their corresponding Curve Numbers (CN).

**WinTR-55 Main Window Data:**

- User: JRC
- Region: Cesar
- Project: Trabajo de grado UdelN
- Locale: Valledupar
- Subtitle: Modelación hidrológica del suroriente de Valledupar
- Execution Date: 14/01/2017
- Sub-areas are expressed in: Hectares
- Dimensionless Unit Hydrograph: standard
- Storm Data Source: User-provided custom storm data
- Rainfall Distribution Identifier: Historical Storm

**Sub-area Entry and Summary Table:**

| Sub-area Name | Sub-area Description    | Sub-area Flows to Reach/Outlet | Area (ha) | Weighted CN | Tc (hr) |
|---------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|-------------|---------|
| S1            | Sub área de drenaje 1-1 | PC-1                           | 224.21    | 76          |         |
| S2            | Sub área de drenaje 1-2 | PC-1                           | 67.05     | 77          |         |
| S3            | Sub área de drenaje 1-3 | PC-2                           | 213.84    | 76          |         |
| S4            | Sub área de drenaje 1-4 | PC-3                           | 96.24     | 77          |         |

Project Area: 601.34 (ha)

**Land Use Details Table:**

| Land Use Categories                            | Condition | A  | CN     | B  | CN | C  | CN | D  | CN |
|--|-----------|----|--------|----|----|----|----|----|----|
| <b>FULLY DEVELOPED URBAN AREAS (Veg Estab)</b> |           |    |        |    |    |    |    |    |    |
| Open space (Lawns, parks etc.)                 |           | 68 | 6.130  | 79 |    | 86 |    | 89 |    |
| Poor condition; grass cover < 50%              |           | 49 |        | 69 |    | 79 |    | 84 |    |
| Fair condition; grass cover 50% to 75%         |           | 39 | 14.740 | 61 |    | 74 |    | 80 |    |
| Good condition; grass cover > 75%              |           |    |        |    |    |    |    |    |    |
| <b>Impervious Areas:</b>                       |           |    |        |    |    |    |    |    |    |
| Paved parking lots, roofs, driveways           |           | 98 |        | 98 |    | 98 |    | 98 |    |
| <b>Streets and roads:</b>                      |           |    |        |    |    |    |    |    |    |
| Paved; curbs and storm sewers                  |           | 98 |        | 98 |    | 98 |    | 98 |    |
| Paved; open ditches (w/right-of-way)           |           | 83 | 12.000 | 89 |    | 92 |    | 93 |    |
| Gravel (w/right-of-way)                        |           | 76 | 4.960  | 85 |    | 89 |    | 91 |    |
| Dirt (w/right-of-way)                          |           | 72 |        | 82 |    | 87 |    | 89 |    |

Project Area(ha): 601.34

Sub-Area: Area (ha) 224.21, Weighted CN: 76

Figura 18. Valores de CN por WinTR-55.

### 7.1.2 Tiempo de concentración (Tc) de la cuenca

De acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras de la Subdirección de Apoyo técnico del Instituto Nacional de Vías, del Ministerio de Transporte de Colombia, el tiempo de concentración de la cuenca se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma.



El tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, dentro de las que se encuentra la de California, que será la utilizada en el presente trabajo y descrita así:

$$T_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración

L: Longitud de la corriente principal (m)

H: Desnivel de la cuenca (m).

Mockus 1957 y Simas 1996 encontraron que para las condiciones medias de las cuencas naturales y una distribución aproximadamente uniforme de la esorrentía, el tiempo de retardo de la cuenca, está dada por la siguiente expresión:

$$Lag\ Time = 0.6T_c$$

Aplicando las anteriores ecuaciones, se encuentra que los tiempos de concentración y de retardo de las subcuencas en estudio, son como se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Tiempo de concentración y retardo de las subcuencas.

| Descripción                   | Unidad | Subcuenca |       |       |       |
|-------------------------------|--------|-----------|-------|-------|-------|
|                               |        | S1        | S2    | S3    | S4    |
| Area de la subcuenca:         | Km2    | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Longitud corriente ppal:      | Km     | 2.33      | 2.26  | 2.39  | 1.47  |
| Desnivel:                     | m      | 27.00     | 21.00 | 25.00 | 14.00 |
| CN:                           | Adim   | 76.00     | 77.00 | 76.00 | 77.00 |
| Pendiente de la cuenca:       | m/m    | 0.01      | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| Tiempo de concentración:      | min    | 42.49     | 45.18 | 45.11 | 32.14 |
| Tiempo de retardo (Lag time): | min    | 25.49     | 27.11 | 27.07 | 19.28 |

### 7.1.3 Análisis de las precipitaciones en el área de estudio

#### 7.1.3.1 Precipitación media mensual

La precipitación media mensual multianual en el periodo 1969 – 2011, se tomó de la estación de Sinóptica Principal (SP) del IDEAM, del Aeropuerto Alfonso López de la ciudad de Valledupar (código SP-2803503), ubicada en las coordenadas geográficas  $10^{\circ}26'$  de latitud Norte y  $73^{\circ}15'$  de longitud Oeste, con una elevación media de 138 m.s.n.m y promedio multianual de 1,256.6 mm, distante unos 2.0 a 2.5 km de las áreas en estudio.

La Figura 19 es una imagen satelital de Google Earth donde se muestra la distancia promedio de la estación del IDEAM, al área de interés del presente trabajo de grado, la Tabla 8 muestra los valores totales mensuales multianuales de precipitación media mensual y la Figura 20 muestra gráficamente la variación multianual de la precipitación media.

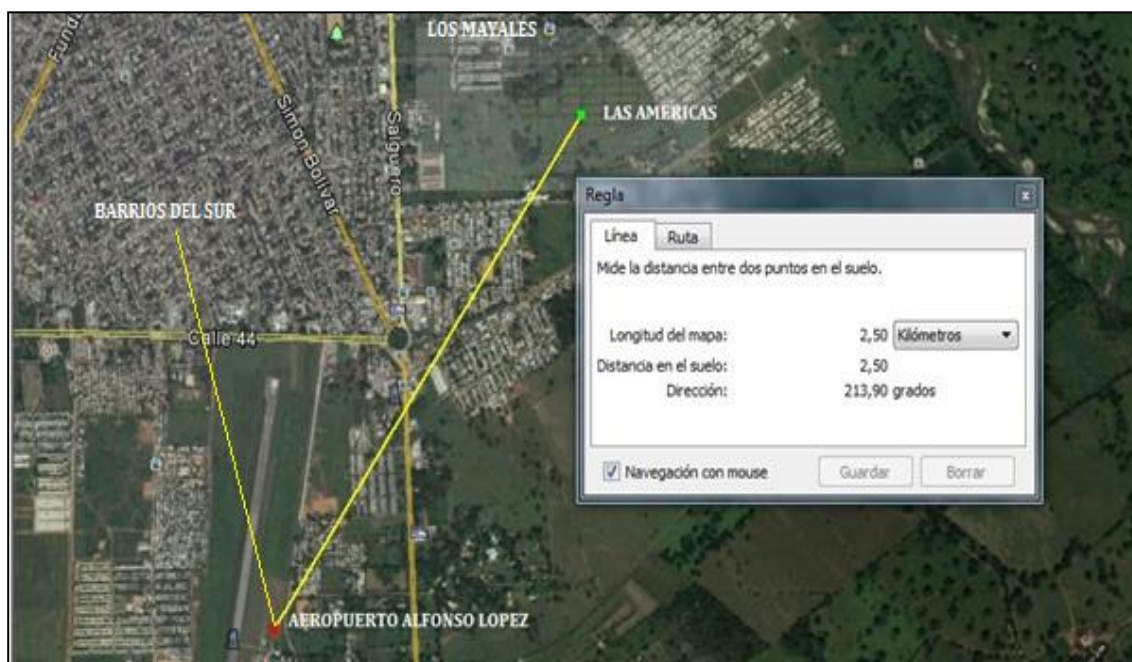


Figura 19. Distancia del proyecto a estación de SP del Aeropuerto A. López

Fuente: Google Earth

Tabla 8. Precipitación media mensual multianual (mm) SP Aeropuerto A. López.

| AÑO           | Ene         | Feb         | Mar          | Abr          | May          | Jun          | Jul          | Ago          | Sep          | Oct          | Nov          | Dic          | Valor Anual   |
|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|               | 1           | 2           | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9            | 10           | 11           | 12           |               |
| 1969          | 8.0         | 27.0        | 78.0         | 266.5        | 223.0        | 246.0        | 46.0         | 296.5        | 0.0          | 0.0          | 90.0         | 4.0          | 1285.0        |
| 1970          | 98.7        | 0.0         | 11.0         | 13.0         | 310.0        | 127.0        | 172.0        | 215.0        | 148.0        | 211.5        | 205.4        | 72.3         | 1583.9        |
| 1971          | 90.0        | 0.0         | 76.0         | 201.0        | 255.0        | 21.0         | 21.0         | 68.0         | 170.0        | 156.0        | 4.0          | 127.0        | 1189.0        |
| 1972          | 57.0        | 48.0        | 139.0        | 150.0        | 154.0        | 161.9        | 30.0         | 90.0         | 160.0        | 96.0         | 35.0         | 55.0         | 1175.9        |
| 1973          | 5.0         | 0.0         | 40.0         | 90.0         | 117.0        | 163.0        | 148.0        | 342.0        | 423.0        | 343.0        | 140.0        | 20.0         | 1831.0        |
| 1974          | 0.0         | 0.0         | 46.2         | 91.5         | 349.5        | 76.8         | 45.8         | 143.9        | 407.0        | 213.0        | 292.4        | 2.8          | 1668.8        |
| 1975          | 0.0         | 0.0         | 23.0         | 11.0         | 169.0        | 20.0         | 156.0        | 215.0        | 156.0        | 283.0        | 279.3        | 104.0        | 1416.3        |
| 1976          | 1.3         | 2.0         | 1.0          | 95.0         | 32.0         | 5.0          | 28.0         | 18.0         | 43.0         | 31.0         | 131.0        | 23.0         | 410.3         |
| 1977          | 32.0        | 0.0         | 0.0          | 53.0         | 353.0        | 126.0        | 18.0         | 18.0         | 118.0        | 484.0        | 139.0        | 0.0          | 1341.0        |
| 1978          | 0.0         | 50.0        | 131.0        | 304.0        | 112.0        | 76.0         | 130.0        | 50.0         | 335.0        | 245.9        | 226.0        | 0.0          | 1659.9        |
| 1979          | 1.0         | 15.0        | 75.0         | 280.0        | 221.0        | 383.0        | 363.2        | 280.6        | 340.6        | 361.0        | 151.0        | 66.0         | 2537.4        |
| 1980          | 3.0         | 28.0        | 0.0          | 78.1         | 63.0         | 145.2        | 27.0         | 132.0        | 178.0        | 247.0        | 159.0        | 88.0         | 1148.3        |
| 1981          | 15.0        | 3.0         | 43.0         | 234.0        | 630.0        | 361.0        | 67.0         | 242.0        | 89.0         | 544.0        | 94.0         | 21.0         | 2343.0        |
| 1982          | 0.0         | 20.0        | 2.0          | 260.0        | 365.0        | 55.0         | 20.0         | 83.0         | 173.5        | 306.5        | 23.0         | 26.5         | 1334.5        |
| 1983          | 14.5        | 46.0        | 18.5         | 114.5        | 229.0        | 191.0        | 124.0        | 110.6        | 159.0        | 368.0        | 97.0         | 0.0          | 1472.1        |
| 1984          | 38.0        | 16.0        | 49.3         | 370.0        | 105.0        | 292.0        | 358.0        | 325.0        | 199.5        | 154.9        | 585.0        | 0.0          | 2492.7        |
| 1985          | 0.0         | 0.0         | 100.0        | 630.0        | 274.5        | 361.0        | 92.5         | 60.4         | 96.0         | 288.5        | 73.1         | 159.5        | 2135.5        |
| 1986          | 37.2        | 12.3        | 28.1         | 68.7         | 145.2        | 87.8         | 26.1         | 63.6         | 90.7         | 339.2        | 98.9         | 0.4          | 998.2         |
| 1987          | 6.8         | 3.3         | 20.0         | 46.1         | 300.2        | 25.3         | 75.2         | 29.4         | 197.6        | 317.0        | 25.7         | 18.5         | 1065.1        |
| 1988          | 0.0         | 3.5         | 1.7          | 148.6        | 164.2        | 248.4        | 81.4         | 470.6        | 58.7         | 94.7         | 99.6         | 0.7          | 1372.1        |
| 1989          | 0.0         | 12.5        | 38.3         | 20.5         | 149.6        | 70.1         | 51.4         | 144.9        | 117.0        | 161.0        | 38.5         | 65.3         | 869.1         |
| 1990          | 0.0         | 0.1         | 33.0         | 113.7        | 133.3        | 87.2         | 21.4         | 145.5        | 171.0        | 359.9        | 153.9        | 43.5         | 1262.5        |
| 1991          | 0.0         | 1.2         | 8.0          | 14.6         | 95.0         | 104.9        | 50.6         | 82.5         | 91.9         | 110.5        | 85.3         | 0.0          | 644.5         |
| 1992          | 5.5         | 0.0         | 17.6         | 81.5         | 105.7        | 54.7         | 33.1         | 92.6         | 101.3        | 113.3        | 86.6         | 16.4         | 708.3         |
| 1993          | 41.7        | 0.3         | 51.4         | 189.1        | 158.6        | 65.9         | 28.4         | 37.2         | 80.9         | 95.4         | 159.6        | 55.4         | 963.9         |
| 1994          | 1.3         | 46.7        | 2.2          | 59.0         | 216.2        | 40.0         | 8.5          | 151.2        | 180.6        | 224.0        | 56.4         | 11.6         | 997.7         |
| 1995          | 0.0         | 1.2         | 86.8         | 71.7         | 155.3        | 144.7        | 107.3        | 227.4        | 98.0         | 193.5        | 72.0         | 12.0         | 1169.9        |
| 1996          | 62.1        | 50.0        | 53.1         | 62.8         | 238.0        | 117.1        | 211.5        | 101.7        | 131.5        | 66.5         | 139.6        | 7.1          | 1241.0        |
| 1997          | 0.3         | 0.0         | 0.0          | 99.8         | 23.1         | 15.7         | 12.7         | 80.9         | 106.7        | 103.7        | 40.3         | 22.7         | 505.9         |
| 1998          | 0.0         | 15.3        | 3.3          | 67.0         | 311.7        | 52.3         | 142.7        | 122.4        | 198.4        | 199.7        | 144.5        | 118.8        | 1376.1        |
| 1999          | 0.0         | 19.1        | 33.8         | 72.1         | 56.0         | 100.0        | 35.6         | 228.5        | 239.0        | 288.2        | 92.6         | 12.1         | 1177.0        |
| 2000          | 11.4        | 5.0         | 1.5          | 31.9         | 199.5        | 60.7         | 33.2         | 159.5        | 56.7         | 121.5        | 143.6        | 21.2         | 845.7         |
| 2001          | 0.0         | 0.0         | 19.2         | 6.4          | 255.7        | 17.0         | 110.0        | 61.3         | 116.6        | 215.0        | 49.9         | 78.6         | 929.7         |
| 2002          | 0.0         | 0.0         | 0.0          | 47.2         | 164.9        | 111.1        | 7.0          | 105.5        | 133.6        | 158.3        | 55.4         | 60.9         | 843.9         |
| 2003          | 0.0         | 0.0         | 74.0         | 60.1         | 184.7        | 60.2         | 87.6         | 80.7         | 52.4         | 309.9        | 180.3        | 7.6          | 1097.5        |
| 2004          | 0.0         | 4.9         | 0.0          | 124.7        | 138.6        | 22.5         | 109.3        | 7.8          | 165.3        | 105.7        | 80.3         | 73.3         | 832.4         |
| 2005          | 44.9        | 0.0         | 32.9         | 63.1         | 187.2        | 188.7        | 73.5         | 124.7        | 106.0        | 120.5        | 251.6        | 0.0          | 1193.1        |
| 2006          | 1.9         | 39.2        | 5.5          | 123.6        | 96.5         | 73.3         | 71.6         | 142.6        | 94.6         | 151.2        | 173.8        | 38.5         | 1012.3        |
| 2007          | 0.0         | 1.1         | 74.2         | 110.1        | 132.8        | 66.0         | 25.6         | 99.2         | 182.8        | 164.0        | 66.4         | 9.2          | 931.4         |
| 2008          | 0.0         | 0.0         | 60.2         | 121.3        | 222.8        | 39.7         | 119.6        | 89.5         | 107.1        | 239.6        | 333.4        | 0.0          | 1333.2        |
| 2009          | 1.8         | 0.0         | 6.3          | 59.2         | 172.7        | 151.8        | 60.3         | 63.1         | 73.1         | 87.7         | 117.9        | 50.0         | 843.9         |
| 2010          | 0.0         | 8.3         | 22.8         | 121.4        | 182.4        | 170.5        | 137.2        | 126.0        | 180.2        | 384.0        | 132.8        | 112.7        | 1578.3        |
| 2011          | 0.0         | 3.0         | 52.1         | 42.8         | 412.1        | 139.7        | 78.5         | 70.0         | 87.3         | 174.1        | 137.9        | 17.6         | 1215.1        |
| <b>Medios</b> | <b>13.5</b> | <b>11.2</b> | <b>36.3</b>  | <b>122.5</b> | <b>199.2</b> | <b>119.2</b> | <b>84.8</b>  | <b>134.8</b> | <b>149.2</b> | <b>214.7</b> | <b>133.5</b> | <b>37.7</b>  | <b>1256.6</b> |
| <b>Mínima</b> | <b>0.0</b>  | <b>0.0</b>  | <b>0.0</b>   | <b>6.4</b>   | <b>23.1</b>  | <b>5.0</b>   | <b>7.0</b>   | <b>7.8</b>   | <b>0.0</b>   | <b>0.0</b>   | <b>4.0</b>   | <b>0.0</b>   | <b>0.0</b>    |
| <b>Máxima</b> | <b>98.7</b> | <b>50.0</b> | <b>139.0</b> | <b>630.0</b> | <b>630.0</b> | <b>383.0</b> | <b>363.2</b> | <b>470.6</b> | <b>423.0</b> | <b>544.0</b> | <b>585.0</b> | <b>159.5</b> | <b>630.0</b>  |

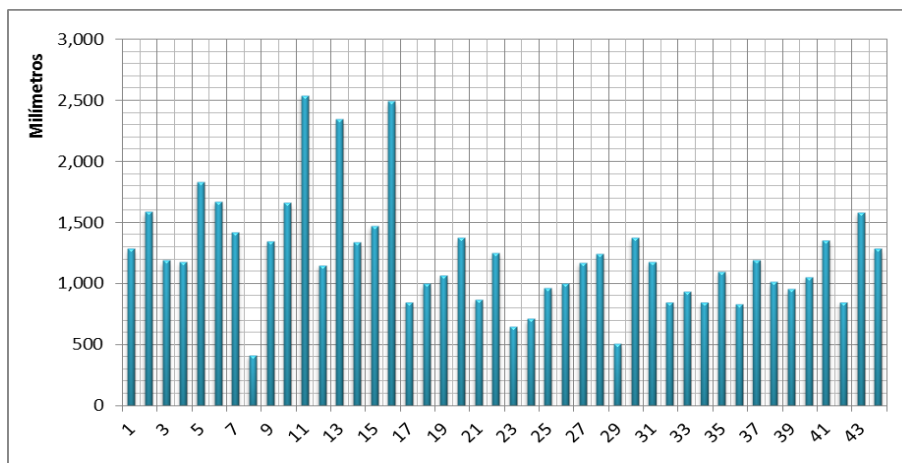


Figura 20. Variación multianual de la precipitación media

### 7.1.3.2 Distribución temporal de la precipitación media

La distribución temporal de las lluvias en el área de estudio es de tipo bimodal, con dos períodos de lluvias, el primero ocurre entre abril y junio y el segundo entre agosto y noviembre. De diciembre hasta marzo se presenta un período seco muy prolongado y de junio a principios de agosto se presenta igualmente un período seco, conocido comúnmente como veranillo de San Juan. La Figura 21 muestra la variación temporal de las lluvias de Valledupar, medidas en la estación SP Aeropuerto Alfonso López de esta ciudad.

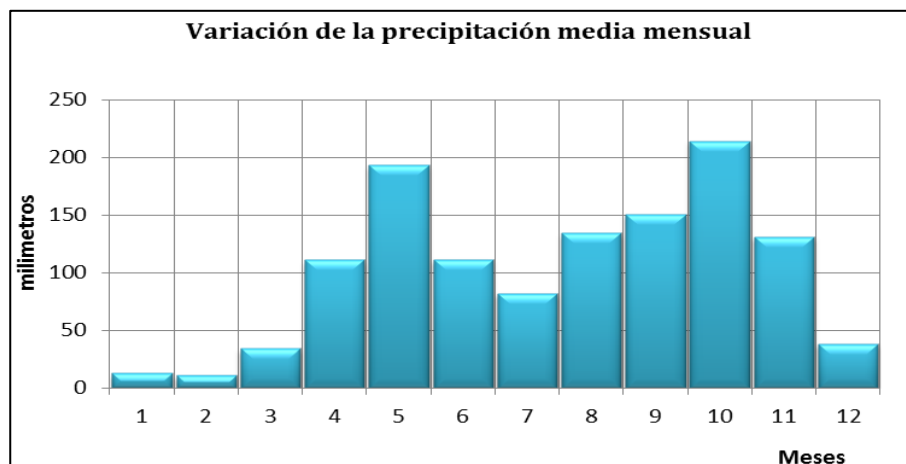


Figura 21. Variación de la precipitación media mensual.

### ***7.1.3.3 Precipitaciones máximas en 24 horas y análisis de frecuencia***

La serie de precipitaciones diarias de la estación antes mencionada, para el período 1969 – 2011, sirvió para determinar los valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas, aspecto que permitió realizar los análisis de distribuciones de probabilidades Normal, Log-Normal, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III y Gumbel, siendo  $Chi^2$  el estadístico que prueba la bondad del mejor ajuste de distribución.

Los resultados obtenidos, una vez realizadas las distribuciones de probabilidad y pruebas  $Chi^2$ , se resumen en las Tablas 9 a 14. La Tabla 15 resume los valores de precipitación máxima en 24 horas para tiempos de retorno de 1 a 100 años, encontrados que la distribución de probabilidad Log-Pearson tipo III, fue la que mejor ajuste tuvo con respecto al estadístico de prueba  $chi^2$  y que serán los valores utilizados en la determinación, tanto, de la ecuación y curvas intensidad - duración – frecuencia, como de los caudales de diseño.

Tabla 9. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm)

| AÑO            | ENE         | FEB         | MAR          | ABR          | MAY          | JUN          | JUL          | AGO          | SEP          | OCT          | NOV          | DIC         | Máximo anual |               |
|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
|                | 1           | 2           | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9            | 10           | 11           | 12          | Orden normal | mayor a menor |
| 1969           | 5.0         | 27.0        | 70.0         | 77.0         | 61.0         | 59.0         | 20.0         | 65.0         | 0.0          | 0.0          | 44.0         | 4.0         | 77.0         | 141.0         |
| 1970           | 23.0        | 0.0         | 5.0          | 5.0          | 95.0         | 60.0         | 38.0         | 45.0         | 47.0         | 60.0         | 57.0         | 67.0        | 95.0         | 140.0         |
| 1971           | 43.0        | 0.0         | 39.0         | 80.0         | 44.0         | 7.0          | 10.0         | 30.0         | 32.0         | 44.0         | 4.0          | 49.0        | 80.0         | 131.0         |
| 1972           | 57.0        | 20.0        | 65.0         | 60.0         | 35.0         | 32.8         | 20.0         | 40.0         | 35.0         | 30.0         | 25.0         | 30.0        | 65.0         | 130.0         |
| 1973           | 5.0         | 0.0         | 15.0         | 35.0         | 80.0         | 35.0         | 65.0         | 50.0         | 140.0        | 85.0         | 75.0         | 20.0        | 140.0        | 126.0         |
| 1974           | 0.0         | 0.0         | 21.4         | 19.7         | 42.7         | 16.0         | 10.3         | 22.3         | 90.0         | 65.0         | 49.2         | 2.7         | 90.0         | 122.8         |
| 1975           | 0.0         | 0.0         | 15.0         | 10.0         | 50.0         | 10.0         | 65.0         | 75.0         | 30.0         | 83.0         | 63.0         | 17.7        | 83.0         | 121.7         |
| 1976           | 1.2         | 1.2         | 1.0          | 30.0         | 10.0         | 4.0          | 27.0         | 14.0         | 10.0         | 7.0          | 100.0        | 22.0        | 100.0        | 117.6         |
| 1977           | 20.0        | 0.0         | 0.0          | 23.0         | 55.0         | 80.0         | 11.0         | 11.0         | 63.0         | 131.0        | 45.0         | 0.0         | 131.0        | 110.0         |
| 1978           | 0.0         | 22.0        | 62.0         | 141.0        | 34.0         | 35.0         | 95.0         | 40.0         | 80.0         | 23.0         | 50.0         | 0.0         | 141.0        | 110.0         |
| 1979           | 1.0         | 15.0        | 50.0         | 65.0         | 55.0         | 68.0         | 67.0         | 130.0        | 41.0         | 53.0         | 39.0         | 50.0        | 130.0        | 110.0         |
| 1980           | 3.0         | 21.0        | 0.0          | 30.0         | 14.4         | 126.0        | 17.0         | 32.0         | 70.0         | 100.0        | 57.0         | 30.0        | 126.0        | 105.0         |
| 1981           | 15.0        | 3.0         | 26.0         | 55.0         | 100.0        | 80.0         | 35.0         | 65.0         | 25.0         | 110.0        | 43.0         | 7.0         | 110.0        | 102.6         |
| 1982           | 0.0         | 10.0        | 2.0          | 80.0         | 90.0         | 24.0         | 17.0         | 35.0         | 60.0         | 34.0         | 23.0         | 10.0        | 90.0         | 101.7         |
| 1983           | 7.5         | 37.5        | 15.0         | 37.0         | 42.0         | 55.0         | 57.0         | 35.0         | 25.0         | 72.0         | 68.0         | 0.0         | 72.0         | 100.0         |
| 1984           | 14.0        | 16.0        | 20.0         | 90.0         | 44.0         | 98.0         | 110.0        | 100.0        | 20.0         | 14.0         | 100.0        | 0.0         | 110.0        | 98.1          |
| 1985           | 0.0         | 0.0         | 100.0        | 110.0        | 84.0         | 85.0         | 60.5         | 20.4         | 30.6         | 45.0         | 31.9         | 90.4        | 110.0        | 96.7          |
| 1986           | 13.7        | 12.3        | 11.4         | 16.7         | 60.8         | 41.7         | 19.8         | 17.3         | 35.1         | 78.0         | 73.6         | 0.4         | 78.0         | 95.0          |
| 1987           | 5.0         | 1.8         | 19.1         | 17.1         | 96.7         | 12.4         | 33.4         | 6.8          | 95.1         | 62.3         | 10.9         | 11.5        | 96.7         | 91.0          |
| 1988           | 0.0         | 3.5         | 1.7          | 45.8         | 52.9         | 121.7        | 47.3         | 115.0        | 22.9         | 23.4         | 59.1         | 0.6         | 121.7        | 90.0          |
| 1989           | 0.0         | 12.5        | 22.8         | 15.2         | 45.2         | 23.3         | 16.8         | 49.5         | 61.6         | 82.4         | 26.8         | 26.7        | 82.4         | 90.0          |
| 1990           | 0.0         | 0.1         | 19.6         | 46.2         | 30.6         | 47.2         | 13.2         | 79.9         | 43.2         | 98.1         | 66.4         | 42.0        | 98.1         | 85.6          |
| 1991           | 0.0         | 1.2         | 7.6          | 7.1          | 41.3         | 42.2         | 41.1         | 57.6         | 31.2         | 31.2         | 43.1         | 0.0         | 57.6         | 84.5          |
| 1992           | 2.9         | 0.0         | 17.6         | 54.2         | 42.8         | 16.9         | 15.6         | 40.1         | 43.0         | 36.8         | 33.4         | 16.4        | 54.2         | 83.7          |
| 1993           | 28.5        | 0.3         | 27.2         | 44.2         | 47.1         | 33.7         | 22.7         | 13.9         | 15.5         | 42.6         | 75.8         | 12.6        | 75.8         | 83.4          |
| 1994           | 1.3         | 26.5        | 1.5          | 38.7         | 102.6        | 23.2         | 3.7          | 77.8         | 50.8         | 73.0         | 20.7         | 11.0        | 102.6        | 83.0          |
| 1995           | 0.0         | 1.2         | 35.1         | 38.0         | 48.0         | 40.0         | 51.7         | 44.4         | 27.2         | 34.4         | 31.8         | 8.6         | 51.7         | 82.4          |
| 1996           | 60.6        | 26.7        | 51.0         | 45.3         | 84.5         | 30.6         | 61.1         | 39.8         | 40.7         | 20.0         | 72.7         | 5.7         | 84.5         | 81.2          |
| 1997           | 0.3         | 0.0         | 0.0          | 57.8         | 6.9          | 4.4          | 3.5          | 55.6         | 29.8         | 41.9         | 17.6         | 18.9        | 57.8         | 80.0          |
| 1998           | 0.0         | 11.3        | 2.3          | 22.7         | 72.0         | 16.5         | 44.4         | 35.5         | 39.4         | 48.5         | 64.6         | 62.2        | 72.0         | 78.6          |
| 1999           | 0.0         | 9.5         | 18.4         | 31.2         | 33.6         | 32.7         | 20.7         | 72.6         | 56.3         | 81.2         | 46.6         | 9.5         | 81.2         | 78.0          |
| 2000           | 11.4        | 4.1         | 0.8          | 10.8         | 45.8         | 38.7         | 14.6         | 117.6        | 11.2         | 37.4         | 84.1         | 16.8        | 117.6        | 77.0          |
| 2001           | 0.0         | 0.0         | 7.2          | 5.8          | 85.6         | 6.5          | 45.2         | 20.8         | 39.4         | 46.0         | 27.4         | 55.5        | 85.6         | 75.8          |
| 2002           | 0.0         | 0.0         | 0.0          | 33.5         | 58.4         | 74.8         | 4.8          | 57.8         | 78.6         | 44.6         | 45.0         | 32.2        | 78.6         | 72.5          |
| 2003           | 0.0         | 0.0         | 45.3         | 30.0         | 79.5         | 17.8         | 27.6         | 38.7         | 11.6         | 41.1         | 91.0         | 6.1         | 91.0         | 72.0          |
| 2004           | 0.0         | 4.7         | 0.0          | 71.7         | 52.5         | 18.3         | 71.5         | 2.2          | 105.0        | 36.3         | 34.8         | 73.3        | 105.0        | 72.0          |
| 2005           | 44.9        | 0.0         | 32.9         | 21.0         | 101.7        | 35.4         | 33.2         | 58.0         | 37.4         | 0.0          | 101.6        | 0.0         | 101.7        | 68.0          |
| 2006           | 1.9         | 39.0        | 2.7          | 42.5         | 28.3         | 49.8         | 52.0         | 66.3         | 42.6         | 54.5         | 72.5         | 38.5        | 72.5         | 65.0          |
| 2007           | 0.0         | 1.1         | 20.0         | 37.9         | 33.8         | 38.1         | 20.4         | 23.0         | 68.0         | 56.8         | 38.0         | 4.5         | 68.0         | 61.4          |
| 2008           | 0.0         | 0.0         | 54.3         | 64.6         | 83.4         | 18.7         | 50.9         | 16.3         | 27.3         | 66.2         | 59.8         | 0.0         | 83.4         | 57.8          |
| 2009           | 1.7         | 0.0         | 5.2          | 30.1         | 51.2         | 61.4         | 41.0         | 21.7         | 17.6         | 33.5         | 27.1         | 47.6        | 61.4         | 57.6          |
| 2010           | 0.0         | 7.7         | 8.8          | 43.5         | 71.0         | 72.0         | 41.2         | 33.1         | 63.6         | 122.8        | 54.0         | 37.4        | 122.8        | 54.2          |
| 2011           | 0.0         | 3.0         | 40.4         | 20.0         | 83.7         | 60.3         | 29.9         | 13.1         | 36.0         | 31.5         | 53.8         | 8.3         | 83.7         | 51.7          |
| <b>MEDIOS</b>  | <b>8.5</b>  | <b>7.9</b>  | <b>22.3</b>  | <b>42.8</b>  | <b>57.6</b>  | <b>43.1</b>  | <b>36.1</b>  | <b>46.1</b>  | <b>44.9</b>  | <b>53.0</b>  | <b>51.3</b>  | <b>22.0</b> | <b>91.5</b>  | <b>91.5</b>   |
| <b>MÁXIMOS</b> | <b>60.6</b> | <b>39.0</b> | <b>100.0</b> | <b>141.0</b> | <b>102.6</b> | <b>126.0</b> | <b>110.0</b> | <b>130.0</b> | <b>140.0</b> | <b>131.0</b> | <b>101.6</b> | <b>90.4</b> | <b>141.0</b> | <b>141.0</b>  |

Tabla 10. Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas

| i (Orden) | DATOS (XI)    |            | Weibull  |                      |                      |                      | NORMAL |       |             | LOG-NORMAL     |             | PEARSON        |             | LOG-PEARSON    |      | GUMBEL      |           |             |
|-----------|---------------|------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|-------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|------|-------------|-----------|-------------|
|           | MAYOR A MENOR | Yi =Log Xi | P (X>Xo) | (Yi-Yo) <sup>2</sup> | (Xi-XP) <sup>3</sup> | (Yi-YP) <sup>3</sup> | W      | Z     | VR AJUSTADO | K <sub>T</sub> | VR AJUSTADO | K <sub>T</sub> | VR AJUSTADO | K <sub>T</sub> | YT   | VR AJUSTADO | Yi PUNTOS | VR AJUSTADO |
| 1         | 141.0         | 4.95       | 0.02     | 10.42                | 121094.51            | 0.10                 | 2.75   | 2.00  | 138.51      | 2.36           | 146.92      | 2.19           | 142.99      | 1.94           | 4.99 | 146.66      | 3.77      | 149.44      |
| 2         | 140.0         | 4.94       | 0.05     | 6.36                 | 113898.98            | 0.10                 | 2.49   | 1.69  | 131.23      | 1.89           | 135.87      | 1.81           | 133.91      | 1.65           | 4.91 | 136.09      | 3.07      | 136.54      |
| 3         | 131.0         | 4.88       | 0.07     | 4.43                 | 61507.08             | 0.06                 | 2.32   | 1.49  | 126.51      | 1.60           | 129.14      | 1.56           | 128.19      | 1.47           | 4.86 | 129.58      | 2.65      | 128.90      |
| 4         | 130.0         | 4.87       | 0.09     | 3.26                 | 56949.97             | 0.06                 | 2.19   | 1.34  | 122.88      | 1.39           | 124.20      | 1.38           | 123.90      | 1.32           | 4.83 | 124.77      | 2.35      | 123.41      |
| 5         | 126.0         | 4.84       | 0.11     | 2.46                 | 40969.96             | 0.04                 | 2.09   | 1.21  | 119.88      | 1.22           | 120.26      | 1.23           | 120.40      | 1.20           | 4.79 | 120.89      | 2.12      | 119.09      |
| 6         | 122.8         | 4.81       | 0.14     | 1.89                 | 30587.21             | 0.03                 | 2.00   | 1.10  | 117.28      | 1.08           | 116.94      | 1.10           | 117.42      | 1.09           | 4.77 | 117.62      | 1.92      | 115.52      |
| 7         | 121.7         | 4.80       | 0.16     | 1.46                 | 27550.56             | 0.03                 | 1.92   | 1.00  | 114.96      | 0.96           | 114.06      | 0.99           | 114.79      | 1.00           | 4.74 | 114.77      | 1.75      | 112.46      |
| 8         | 117.6         | 4.77       | 0.18     | 1.13                 | 17725.99             | 0.02                 | 1.85   | 0.91  | 112.86      | 0.85           | 111.51      | 0.89           | 112.43      | 0.91           | 4.72 | 112.22      | 1.61      | 109.78      |
| 9         | 110.0         | 4.70       | 0.20     | 0.86                 | 6304.71              | 0.01                 | 1.78   | 0.83  | 110.91      | 0.75           | 109.19      | 0.80           | 110.27      | 0.83           | 4.70 | 109.91      | 1.47      | 107.37      |
| 10        | 110.0         | 4.70       | 0.23     | 0.66                 | 6304.71              | 0.01                 | 1.72   | 0.75  | 109.08      | 0.66           | 107.07      | 0.71           | 108.27      | 0.76           | 4.68 | 107.78      | 1.36      | 105.19      |
| 11        | 110.0         | 4.70       | 0.25     | 0.49                 | 6304.71              | 0.01                 | 1.67   | 0.67  | 107.36      | 0.58           | 105.11      | 0.63           | 106.39      | 0.68           | 4.66 | 105.81      | 1.25      | 103.18      |
| 12        | 105.0         | 4.65       | 0.27     | 0.36                 | 2446.05              | 0.00                 | 1.61   | 0.60  | 105.71      | 0.50           | 103.27      | 0.56           | 104.62      | 0.62           | 4.64 | 103.95      | 1.14      | 101.32      |
| 13        | 102.6         | 4.63       | 0.30     | 0.25                 | 1357.95              | 0.00                 | 1.56   | 0.54  | 104.14      | 0.43           | 101.53      | 0.49           | 102.94      | 0.55           | 4.63 | 102.20      | 1.05      | 99.58       |
| 14        | 101.7         | 4.62       | 0.32     | 0.17                 | 1053.04              | 0.00                 | 1.51   | 0.47  | 102.62      | 0.36           | 99.88       | 0.42           | 101.33      | 0.49           | 4.61 | 100.53      | 0.96      | 97.94       |
| 15        | 100.0         | 4.61       | 0.34     | 0.11                 | 608.45               | 0.00                 | 1.47   | 0.41  | 101.14      | 0.29           | 98.31       | 0.35           | 99.78       | 0.43           | 4.59 | 98.93       | 0.87      | 96.39       |
| 16        | 98.1          | 4.59       | 0.36     | 0.06                 | 284.08               | 0.00                 | 1.42   | 0.35  | 99.71       | 0.22           | 96.80       | 0.29           | 98.29       | 0.36           | 4.58 | 97.40       | 0.79      | 94.91       |
| 17        | 96.7          | 4.57       | 0.39     | 0.03                 | 138.49               | 0.00                 | 1.38   | 0.29  | 98.30       | 0.16           | 95.35       | 0.23           | 96.83       | 0.31           | 4.56 | 95.92       | 0.72      | 93.49       |
| 18        | 95.0          | 4.55       | 0.41     | 0.01                 | 41.92                | 0.00                 | 1.34   | 0.23  | 96.91       | 0.10           | 93.94       | 0.17           | 95.41       | 0.25           | 4.55 | 94.48       | 0.64      | 92.13       |
| 19        | 91.0          | 4.51       | 0.43     | 0.00                 | -0.15                | 0.00                 | 1.30   | 0.17  | 95.55       | 0.04           | 92.58       | 0.11           | 94.02       | 0.19           | 4.53 | 93.08       | 0.57      | 90.81       |
| 20        | 90.0          | 4.50       | 0.45     | 0.00                 | -3.56                | 0.00                 | 1.26   | 0.11  | 94.20       | -0.01          | 91.24       | 0.05           | 92.66       | 0.13           | 4.52 | 91.71       | 0.50      | 89.54       |
| 21        | 90.0          | 4.50       | 0.48     | 0.01                 | -3.56                | 0.00                 | 1.22   | 0.06  | 92.86       | -0.07          | 89.94       | -0.01          | 91.32       | 0.08           | 4.50 | 90.37       | 0.43      | 88.30       |
| 22        | 85.6          | 4.45       | 0.50     | 0.03                 | -208.13              | 0.00                 | 1.18   | 0.00  | 91.53       | -0.12          | 88.66       | -0.07          | 89.99       | 0.02           | 4.49 | 89.05       | 0.37      | 87.08       |
| 23        | 84.5          | 4.44       | 0.52     | 0.06                 | -346.87              | 0.00                 | 1.22   | -0.06 | 90.19       | -0.18          | 87.39       | -0.12          | 88.67       | -0.04          | 4.47 | 87.74       | 0.30      | 85.89       |
| 24        | 83.7          | 4.43       | 0.55     | 0.09                 | -479.36              | 0.00                 | 1.26   | -0.11 | 88.85       | -0.23          | 86.14       | -0.18          | 87.36       | -0.10          | 4.46 | 86.45       | 0.24      | 84.72       |
| 25        | 83.4          | 4.42       | 0.57     | 0.14                 | -536.62              | 0.00                 | 1.30   | -0.17 | 87.50       | -0.28          | 84.90       | -0.23          | 86.04       | -0.15          | 4.44 | 85.16       | 0.17      | 83.57       |
| 26        | 83.0          | 4.42       | 0.59     | 0.19                 | -619.83              | 0.00                 | 1.34   | -0.23 | 86.14       | -0.33          | 83.66       | -0.29          | 84.73       | -0.21          | 4.43 | 83.88       | 0.11      | 82.43       |
| 27        | 82.4          | 4.41       | 0.61     | 0.25                 | -760.11              | 0.00                 | 1.38   | -0.29 | 84.75       | -0.39          | 82.43       | -0.35          | 83.40       | -0.27          | 4.41 | 82.60       | 0.05      | 81.29       |
| 28        | 81.2          | 4.40       | 0.64     | 0.31                 | -1101.10             | 0.00                 | 1.42   | -0.35 | 83.35       | -0.44          | 81.19       | -0.40          | 82.07       | -0.33          | 4.40 | 81.31       | -0.01     | 80.16       |
| 29        | 80.0          | 4.38       | 0.66     | 0.38                 | -1531.31             | 0.00                 | 1.47   | -0.41 | 81.91       | -0.49          | 79.95       | -0.46          | 80.71       | -0.39          | 4.38 | 80.01       | -0.07     | 79.03       |
| 30        | 78.6          | 4.36       | 0.68     | 0.46                 | -2159.82             | 0.00                 | 1.51   | -0.47 | 80.43       | -0.55          | 78.69       | -0.52          | 79.33       | -0.46          | 4.37 | 78.70       | -0.14     | 77.89       |
| 31        | 78.0          | 4.36       | 0.70     | 0.55                 | -2474.76             | 0.00                 | 1.56   | -0.54 | 78.91       | -0.60          | 77.41       | -0.58          | 77.92       | -0.52          | 4.35 | 77.37       | -0.20     | 76.74       |
| 32        | 77.0          | 4.34       | 0.73     | 0.65                 | -3065.21             | 0.00                 | 1.61   | -0.60 | 77.34       | -0.66          | 76.11       | -0.64          | 76.48       | -0.59          | 4.33 | 76.00       | -0.26     | 75.58       |
| 33        | 75.8          | 4.33       | 0.75     | 0.76                 | -3889.34             | 0.00                 | 1.67   | -0.67 | 75.70       | -0.71          | 74.78       | -0.70          | 74.98       | -0.66          | 4.31 | 74.60       | -0.33     | 74.39       |
| 34        | 72.5          | 4.28       | 0.77     | 0.88                 | -6887.47             | -0.01                | 1.72   | -0.75 | 73.97       | -0.77          | 73.41       | -0.77          | 73.43       | -0.74          | 4.29 | 73.16       | -0.39     | 73.17       |
| 35        | 72.0          | 4.28       | 0.80     | 1.01                 | -7444.86             | -0.01                | 1.78   | -0.83 | 72.15       | -0.83          | 71.98       | -0.84          | 71.80       | -0.82          | 4.27 | 71.66       | -0.46     | 71.92       |
| 36        | 72.0          | 4.28       | 0.82     | 1.16                 | -7444.86             | -0.01                | 1.85   | -0.91 | 70.20       | -0.90          | 70.49       | -0.91          | 70.09       | -0.90          | 4.25 | 70.08       | -0.53     | 70.61       |
| 37        | 68.0          | 4.22       | 0.84     | 1.33                 | -13021.41            | -0.02                | 1.92   | -1.00 | 68.09       | -0.96          | 68.91       | -0.99          | 68.25       | -1.00          | 4.23 | 68.41       | -0.61     | 69.23       |
| 38        | 65.0          | 4.17       | 0.86     | 1.52                 | -18664.98            | -0.03                | 2.00   | -1.10 | 65.77       | -1.04          | 67.21       | -1.08          | 66.26       | -1.10          | 4.20 | 66.62       | -0.69     | 67.75       |
| 39        | 61.4          | 4.12       | 0.89     | 1.75                 | -27342.31            | -0.05                | 2.09   | -1.21 | 63.17       | -1.11          | 65.36       | -1.17          | 64.06       | -1.22          | 4.17 | 64.65       | -0.78     | 66.15       |
| 40        | 57.8          | 4.06       | 0.91     | 2.02                 | -38362.26            | -0.08                | 2.19   | -1.34 | 60.17       | -1.20          | 63.28       | -1.28          | 61.56       | -1.35          | 4.13 | 62.44       | -0.87     | 64.36       |
| 41        | 57.6          | 4.05       | 0.93     | 2.35                 | -39048.79            | -0.08                | 2.32   | -1.49 | 56.54       | -1.31          | 60.86       | -1.40          | 58.61       | -1.51          | 4.09 | 59.86       | -0.99     | 62.29       |
| 42        | 54.2          | 3.99       | 0.95     | 2.80                 | -52004.76            | -0.12                | 2.49   | -1.69 | 51.82       | -1.43          | 57.85       | -1.56          | 54.86       | -1.73          | 4.04 | 56.64       | -1.13     | 59.71       |
| 43        | 51.7          | 3.95       | 0.98     | 3.52                 | -63169.62            | -0.16                | 2.75   | -2.00 | 44.54       | -1.62          | 53.50       | -1.80          | 49.30       | -2.06          | 3.95 | 51.97       | -1.33     | 56.01       |
| Suma      | 3935.6        | 192.82     |          | 56.66                | 204.557              | -0.0799              |        |       |             |                |             |                |             |                |      |             |           |             |

|                 |       |        |
|-----------------|-------|--------|
| Promedio.       | 91.53 | 4.48   |
| Des.v. Estándar | 23.48 | 0.26   |
| Coef Asimetría  | 0.395 | -0.114 |
| Coef Curtosis   | 2.44  | *      |
| No Datos        | 43    | *      |
| Valor Máximo    | 141   | *      |
| Valor Mínimo    | 51.7  | *      |

| DISTRIBUCION GUMBEL             |         |
|---------------------------------|---------|
| Sn:                             | 1.1479  |
| Yn (media):                     | 0.5453  |
| $\alpha = 1/(\sqrt{6} * s/\pi)$ | 18.3082 |
| Xf (u):                         | 80.4    |

| DISTRIBUCIÓN             | PEARSON | LOG-PEARSON |
|--------------------------|---------|-------------|
| Coeficiente de Asimetría | 0.395   | -0.114      |

| LOG-NORMAL                  |      |      |
|-----------------------------|------|------|
| Coef. Variación: Cv= (Sd/x) | 0.26 | 0.06 |

Tabla 11. Prueba Chi cuadrado ( $x^2$ )

| MÁXIM       | NORMAL |             |               | LOG-NORMAL |             |               | PEARSON |             |               | LOG-PEARSON |             |               | GUMBEL |             |               |
|-------------|--------|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|---------|-------------|---------------|-------------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|
| Y           | Yc     | $(Y-Yc)^2$  | $(Y-Yc)^2/Yc$ | Yc         | $(Y-Yc)^2$  | $(Y-Yc)^2/Yc$ | Yc      | $(Y-Yc)^2$  | $(Y-Yc)^2/Yc$ | Yc          | $(Y-Yc)^2$  | $(Y-Yc)^2/Yc$ | Yc     | $(Y-Yc)^2$  | $(Y-Yc)^2/Yc$ |
| 141.00      | 138.51 | 6.21        | 0.04          | 146.92     | 35.10       | 0.24          | 142.99  | 3.97        | 0.03          | 146.66      | 31.99       | 0.22          | 149.44 | 71.29       | 0.48          |
| 140.00      | 131.23 | 76.86       | 0.59          | 135.87     | 17.07       | 0.13          | 133.91  | 37.06       | 0.28          | 136.09      | 15.26       | 0.11          | 136.54 | 11.98       | 0.09          |
| 131.00      | 126.51 | 20.18       | 0.16          | 129.14     | 3.47        | 0.03          | 128.19  | 7.88        | 0.06          | 129.58      | 2.01        | 0.02          | 128.90 | 4.42        | 0.03          |
| 130.00      | 122.88 | 50.66       | 0.41          | 124.20     | 33.62       | 0.27          | 123.90  | 37.25       | 0.30          | 124.77      | 27.39       | 0.22          | 123.41 | 43.47       | 0.35          |
| 126.00      | 119.88 | 37.45       | 0.31          | 120.26     | 32.99       | 0.27          | 120.40  | 31.36       | 0.26          | 120.89      | 26.09       | 0.22          | 119.09 | 47.69       | 0.40          |
| 122.80      | 117.28 | 30.45       | 0.26          | 116.94     | 34.31       | 0.29          | 117.42  | 28.99       | 0.25          | 117.62      | 26.83       | 0.23          | 115.52 | 52.94       | 0.46          |
| 121.73      | 114.96 | 45.76       | 0.40          | 114.06     | 58.74       | 0.51          | 114.79  | 48.14       | 0.42          | 114.77      | 48.46       | 0.42          | 112.46 | 85.84       | 0.76          |
| 117.60      | 112.86 | 22.51       | 0.20          | 111.51     | 37.12       | 0.33          | 112.43  | 26.75       | 0.24          | 112.22      | 28.93       | 0.26          | 109.78 | 61.21       | 0.56          |
| 110.00      | 110.91 | 0.82        | 0.01          | 109.19     | 0.65        | 0.01          | 110.27  | 0.07        | 0.00          | 109.91      | 0.01        | 0.00          | 107.37 | 6.91        | 0.06          |
| 110.00      | 109.08 | 0.84        | 0.01          | 107.07     | 8.57        | 0.08          | 108.27  | 3.01        | 0.03          | 107.78      | 4.91        | 0.05          | 105.19 | 23.16       | 0.22          |
| 110.00      | 107.36 | 6.99        | 0.07          | 105.11     | 23.95       | 0.23          | 106.39  | 13.02       | 0.12          | 105.81      | 17.59       | 0.17          | 103.18 | 46.49       | 0.45          |
| 105.00      | 105.71 | 0.51        | 0.00          | 103.27     | 3.01        | 0.03          | 104.62  | 0.14        | 0.00          | 103.95      | 1.10        | 0.01          | 101.32 | 13.53       | 0.13          |
| 102.60      | 104.14 | 2.37        | 0.02          | 101.53     | 1.14        | 0.01          | 102.94  | 0.12        | 0.00          | 102.20      | 0.16        | 0.00          | 99.58  | 9.11        | 0.09          |
| 101.70      | 102.62 | 0.84        | 0.01          | 99.88      | 3.30        | 0.03          | 101.33  | 0.14        | 0.00          | 100.53      | 1.37        | 0.01          | 97.94  | 14.12       | 0.14          |
| 100.00      | 101.14 | 1.31        | 0.01          | 98.31      | 2.85        | 0.03          | 99.78   | 0.05        | 0.00          | 98.93       | 1.14        | 0.01          | 96.39  | 13.03       | 0.14          |
| 98.10       | 99.71  | 2.58        | 0.03          | 96.80      | 1.68        | 0.02          | 98.29   | 0.03        | 0.00          | 97.40       | 0.49        | 0.01          | 94.91  | 10.17       | 0.11          |
| 96.70       | 98.30  | 2.55        | 0.03          | 95.35      | 1.82        | 0.02          | 96.83   | 0.02        | 0.00          | 95.92       | 0.62        | 0.01          | 93.49  | 10.28       | 0.11          |
| 95.00       | 96.91  | 3.67        | 0.04          | 93.94      | 1.12        | 0.01          | 95.41   | 0.17        | 0.00          | 94.48       | 0.27        | 0.00          | 92.13  | 8.23        | 0.09          |
| 91.00       | 95.55  | 20.71       | 0.22          | 92.58      | 2.48        | 0.03          | 94.02   | 9.15        | 0.10          | 93.08       | 4.31        | 0.05          | 90.81  | 0.03        | 0.00          |
| 90.00       | 94.20  | 17.65       | 0.19          | 91.24      | 1.54        | 0.02          | 92.66   | 7.08        | 0.08          | 91.71       | 2.92        | 0.03          | 89.54  | 0.21        | 0.00          |
| 90.00       | 92.86  | 8.19        | 0.09          | 89.94      | 0.00        | 0.00          | 91.32   | 1.74        | 0.02          | 90.37       | 0.13        | 0.00          | 88.30  | 2.91        | 0.03          |
| 85.60       | 91.53  | 35.12       | 0.38          | 88.66      | 9.33        | 0.11          | 89.99   | 19.26       | 0.21          | 89.05       | 11.87       | 0.13          | 87.08  | 2.20        | 0.03          |
| 84.50       | 90.19  | 32.39       | 0.36          | 87.39      | 8.36        | 0.10          | 88.67   | 17.39       | 0.20          | 87.74       | 10.51       | 0.12          | 85.89  | 1.94        | 0.02          |
| 83.70       | 88.85  | 26.53       | 0.30          | 86.14      | 5.96        | 0.07          | 87.36   | 13.37       | 0.15          | 86.45       | 7.56        | 0.09          | 84.72  | 1.05        | 0.01          |
| 83.40       | 87.50  | 16.82       | 0.19          | 84.90      | 2.25        | 0.03          | 86.04   | 6.99        | 0.08          | 85.16       | 3.12        | 0.04          | 83.57  | 0.03        | 0.00          |
| 83.00       | 86.14  | 9.84        | 0.11          | 83.66      | 0.44        | 0.01          | 84.73   | 2.98        | 0.04          | 83.88       | 0.78        | 0.01          | 82.43  | 0.33        | 0.00          |
| 82.40       | 84.75  | 5.55        | 0.07          | 82.43      | 0.00        | 0.00          | 83.40   | 1.01        | 0.01          | 82.60       | 0.04        | 0.00          | 81.29  | 1.23        | 0.02          |
| 81.20       | 83.35  | 4.61        | 0.06          | 81.19      | 0.00        | 0.00          | 82.07   | 0.75        | 0.01          | 81.31       | 0.01        | 0.00          | 80.16  | 1.08        | 0.01          |
| 80.00       | 81.91  | 3.65        | 0.04          | 79.95      | 0.00        | 0.00          | 80.71   | 0.51        | 0.01          | 80.01       | 0.00        | 0.00          | 79.03  | 0.94        | 0.01          |
| 78.60       | 80.43  | 3.37        | 0.04          | 78.69      | 0.01        | 0.00          | 79.33   | 0.54        | 0.01          | 78.70       | 0.01        | 0.00          | 77.89  | 0.50        | 0.01          |
| 78.00       | 78.91  | 0.84        | 0.01          | 77.41      | 0.35        | 0.00          | 77.92   | 0.01        | 0.00          | 77.37       | 0.40        | 0.01          | 76.74  | 1.58        | 0.02          |
| 77.00       | 77.34  | 0.11        | 0.00          | 76.11      | 0.79        | 0.01          | 76.48   | 0.27        | 0.00          | 76.00       | 0.99        | 0.01          | 75.58  | 2.02        | 0.03          |
| 75.80       | 75.70  | 0.01        | 0.00          | 74.78      | 1.04        | 0.01          | 74.98   | 0.67        | 0.01          | 74.60       | 1.43        | 0.02          | 74.39  | 1.98        | 0.03          |
| 72.50       | 73.97  | 2.16        | 0.03          | 73.41      | 0.82        | 0.01          | 73.43   | 0.87        | 0.01          | 73.16       | 0.44        | 0.01          | 73.17  | 0.45        | 0.01          |
| 72.00       | 72.15  | 0.02        | 0.00          | 71.98      | 0.00        | 0.00          | 71.80   | 0.04        | 0.00          | 71.66       | 0.12        | 0.00          | 71.92  | 0.01        | 0.00          |
| 72.00       | 70.20  | 3.25        | 0.05          | 70.49      | 2.29        | 0.03          | 70.09   | 3.66        | 0.05          | 70.08       | 3.68        | 0.05          | 70.61  | 1.94        | 0.03          |
| 68.00       | 68.09  | 0.01        | 0.00          | 68.91      | 0.82        | 0.01          | 68.25   | 0.06        | 0.00          | 68.41       | 0.17        | 0.00          | 69.23  | 1.50        | 0.02          |
| 65.00       | 65.77  | 0.59        | 0.01          | 67.21      | 4.89        | 0.07          | 66.26   | 1.59        | 0.02          | 66.62       | 2.61        | 0.04          | 67.75  | 7.57        | 0.11          |
| 61.40       | 63.17  | 3.14        | 0.05          | 65.36      | 15.67       | 0.24          | 64.06   | 7.08        | 0.11          | 64.65       | 10.56       | 0.16          | 66.15  | 22.54       | 0.34          |
| 57.80       | 60.17  | 5.62        | 0.09          | 63.28      | 30.05       | 0.47          | 61.56   | 14.17       | 0.23          | 62.44       | 21.55       | 0.35          | 64.36  | 43.03       | 0.67          |
| 57.60       | 56.54  | 1.11        | 0.02          | 60.86      | 10.65       | 0.17          | 58.61   | 1.02        | 0.02          | 59.86       | 5.12        | 0.09          | 62.29  | 21.95       | 0.35          |
| 54.20       | 51.82  | 5.67        | 0.11          | 57.85      | 13.31       | 0.23          | 54.86   | 0.43        | 0.01          | 56.64       | 5.95        | 0.11          | 59.71  | 30.37       | 0.51          |
| 51.70       | 44.54  | 51.21       | 1.15          | 53.50      | 3.22        | 0.06          | 49.30   | 5.78        | 0.12          | 51.97       | 0.07        | 0.00          | 56.01  | 18.55       | 0.33          |
| <b>SUMA</b> |        | <b>6.16</b> |               |            | <b>4.23</b> |               |         | <b>3.48</b> |               |             | <b>3.26</b> |               |        | <b>7.27</b> |               |



Tabla 12. Frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas

| PROBABILIDAD        | PERIODO RETORNO | FRECUENCIA   | NORMAL      |              | LOG NORM AL    | PEARS ON       | LOG-PEARSON    |             | GUMBEL (Vble reducida) | VALOR ESPERADO DE CADA DISTRIBUCIÓN PARA CADA Tr |               |               |               |               |
|---------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|----------------|----------------|----------------|-------------|------------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                     |                 |              | W           | Z            | K <sub>T</sub> | K <sub>T</sub> | K <sub>T</sub> | YT          | Y                      | NORMAL   | LOG-NORMAL    | PEARSON       | LOG-PEARSON   | GUMBEL        |
| (%)                 | (años)          | (PE)         |             |              |                |                |                |             |                        | P (mm)   | P (mm)        | P (mm)        | P (mm)        | P (mm)        |
| <b>1.0%</b>         | <b>1.0</b>      | <b>0.990</b> | <b>3.04</b> | <b>-2.33</b> | <b>-1.80</b>   | <b>-2.04</b>   | <b>-2.41</b>   | <b>3.86</b> | <b>-1.53</b>           | <b>36.80</b>                                     | <b>49.22</b>  | <b>43.66</b>  | <b>47.37</b>  | <b>52.37</b>  |
| 9.9%                | 1.1             | 0.901        | 2.15        | -1.29        | -1.17          | -1.24          | -1.30          | 4.15        | -0.84                  | 61.31  | 64.06         | 62.51         | 63.27         | 65.03         |
| 20.0%               | 1.3             | 0.800        | 1.79        | -0.84        | -0.84          | -0.85          | -0.84          | 4.27        | -0.48                  | 71.77  | 71.69         | 71.47         | 71.35         | 71.66         |
| 25.0%               | 1.3             | 0.750        | 1.67        | -0.67        | -0.71          | -0.70          | -0.66          | 4.31        | -0.33                  | 75.70  | 74.78         | 74.98         | 74.61         | 74.39         |
| <b>50.0%</b>        | <b>2.0</b>      | <b>0.500</b> | <b>1.18</b> | <b>0.00</b>  | <b>-0.12</b>   | <b>-0.07</b>   | <b>0.02</b>    | <b>4.49</b> | <b>0.37</b>            | <b>91.53</b>                                     | <b>88.66</b>  | <b>89.99</b>  | <b>89.05</b>  | <b>87.08</b>  |
| 60.0%               | 2.5             | 0.400        | 1.35        | 0.25         | 0.13           | 0.19           | 0.27           | 4.55        | 0.67                   | 97.47  | 94.50         | 95.98         | 95.05         | 92.67         |
| 57.1%               | 2.3             | 0.429        | 1.30        | 0.18         | 0.05           | 0.11           | 0.20           | 4.54        | 0.58                   | 95.71  | 92.73         | 94.18         | 93.24         | 90.96         |
| 75.1%               | 4.0             | 0.249        | 1.67        | 0.68         | 0.58           | 0.64           | 0.69           | 4.66        | 1.25                   | 107.41   | 105.17        | 106.45        | 105.87        | 103.25        |
| <b>80.0%</b>        | <b>5.0</b>      | <b>0.200</b> | <b>1.79</b> | <b>0.84</b>  | <b>0.77</b>    | <b>0.82</b>    | <b>0.85</b>    | <b>4.70</b> | <b>1.50</b>            | <b>111.28</b>                                    | <b>109.64</b> | <b>110.69</b> | <b>110.36</b> | <b>107.83</b> |
| <b>90.0%</b>        | <b>10.0</b>     | <b>0.100</b> | <b>2.15</b> | <b>1.28</b>  | <b>1.32</b>    | <b>1.32</b>    | <b>1.27</b>    | <b>4.81</b> | <b>2.25</b>            | <b>121.62</b>                                    | <b>122.53</b> | <b>122.42</b> | <b>123.13</b> | <b>121.57</b> |
| <b>96.0%</b>        | <b>25.0</b>     | <b>0.040</b> | <b>2.54</b> | <b>1.75</b>  | <b>1.98</b>    | <b>1.88</b>    | <b>1.71</b>    | <b>4.93</b> | <b>3.20</b>            | <b>132.64</b>                                    | <b>137.95</b> | <b>135.65</b> | <b>138.09</b> | <b>138.93</b> |
| 96.7%               | 30.0            | 0.033        | 2.61        | 1.83         | 2.10           | 1.98           | 1.79           | 4.95        | 3.38                   | 134.60   | 140.88        | 138.07        | 140.90        | 142.33        |
| 97.5%               | 40.0            | 0.025        | 2.72        | 1.96         | 2.30           | 2.14           | 1.91           | 4.98        | 3.68                   | 137.56   | 145.43        | 141.79        | 145.24        | 147.68        |
| 97.8%               | 45.0            | 0.022        | 2.76        | 2.01         | 2.37           | 2.20           | 1.95           | 4.99        | 3.80                   | 138.73   | 147.28        | 143.27        | 146.99        | 149.86        |
| <b>98.0%</b>        | <b>50.0</b>     | <b>0.020</b> | <b>2.80</b> | <b>2.05</b>  | <b>2.44</b>    | <b>2.26</b>    | <b>1.99</b>    | <b>5.00</b> | <b>3.90</b>            | <b>139.76</b>                                    | <b>148.92</b> | <b>144.59</b> | <b>148.54</b> | <b>151.81</b> |
| 98.2%               | 55.0            | 0.018        | 2.83        | 2.09         | 2.51           | 2.31           | 2.03           | 5.01        | 4.00                   | 140.68   | 150.39        | 145.76        | 149.94        | 153.57        |
| 98.3%               | 60.0            | 0.017        | 2.86        | 2.13         | 2.56           | 2.36           | 2.06           | 5.02        | 4.09                   | 141.51   | 151.74        | 146.83        | 151.20        | 155.18        |
| 98.5%               | 65.0            | 0.015        | 2.89        | 2.16         | 2.62           | 2.40           | 2.09           | 5.03        | 4.17                   | 142.26   | 152.97        | 147.80        | 152.36        | 156.66        |
| 98.6%               | 70.0            | 0.014        | 2.91        | 2.19         | 2.66           | 2.43           | 2.12           | 5.03        | 4.24                   | 142.95   | 154.10        | 148.69        | 153.42        | 158.02        |
| 98.7%               | 75.0            | 0.013        | 2.94        | 2.22         | 2.71           | 2.47           | 2.14           | 5.04        | 4.31                   | 143.58   | 155.16        | 149.52        | 154.41        | 159.29        |
| 98.8%               | 80.0            | 0.013        | 2.96        | 2.24         | 2.75           | 2.50           | 2.16           | 5.05        | 4.38                   | 144.17   | 156.14        | 150.28        | 155.33        | 160.48        |
| 98.8%               | 85.0            | 0.012        | 2.98        | 2.27         | 2.79           | 2.53           | 2.19           | 5.05        | 4.44                   | 144.72   | 157.06        | 151.00        | 156.20        | 161.60        |
| 98.9%               | 90.0            | 0.011        | 3.00        | 2.29         | 2.83           | 2.56           | 2.21           | 5.06        | 4.49                   | 145.23   | 157.93        | 151.67        | 157.01        | 162.65        |
| 98.9%               | 95.0            | 0.011        | 3.02        | 2.31         | 2.86           | 2.59           | 2.22           | 5.06        | 4.55                   | 145.71   | 158.75        | 152.31        | 157.77        | 163.65        |
| <b>99.0%</b>        | <b>100.0</b>    | <b>0.010</b> | <b>3.03</b> | <b>2.33</b>  | <b>2.90</b>    | <b>2.61</b>    | <b>2.24</b>    | <b>5.07</b> | <b>4.60</b>            | <b>146.16</b>                                    | <b>159.53</b> | <b>152.90</b> | <b>158.49</b> | <b>164.59</b> |
| PRUEBA CHI CUADRADO |                 |              |             |              |                |                |                |             |                        | <b>6.16</b>                                      | <b>4.23</b>   | <b>3.48</b>   | <b>3.26</b>   | <b>7.27</b>   |

Tabla 13. Resumen distribución de P máx (24hr)

| Tr años | NORMAL | LOG-NORMAL | PEARSON | LOG-PEARSON | GUMBEL |
|---------|--------|------------|---------|-------------|--------|
| 1       | 36.80  | 52.37      | 43.66   | 47.37       | 49.22  |
| 2       | 91.53  | 88.66      | 89.99   | 89.05       | 87.08  |
| 5       | 111.28 | 109.64     | 110.69  | 110.36      | 107.83 |
| 10      | 121.62 | 122.53     | 122.42  | 123.13      | 121.57 |
| 25      | 132.64 | 137.95     | 135.65  | 138.09      | 138.93 |
| 50      | 139.76 | 148.92     | 144.59  | 148.54      | 151.81 |
| 100     | 146.16 | 159.53     | 152.90  | 158.49      | 164.59 |
| chi 2   | 6.16   | 4.23       | 3.48    | 3.26        | 7.27   |

Tabla 14. Resumen probabilidad de ocurrencia, P máx (24 hr)

| Probabilidad ≤ % | NORMAL | LOG-NORMAL | PEARSON | LOG-PEARSON | GUMBEL |
|------------------|--------|------------|---------|-------------|--------|
| 1                | 36.80  | 49.22      | 43.66   | 47.37       | 52.37  |
| 2                | 71.77  | 71.69      | 71.47   | 71.35       | 71.66  |
| 25               | 75.70  | 74.78      | 74.98   | 74.61       | 74.39  |
| 50               | 91.53  | 88.66      | 89.99   | 89.05       | 87.08  |
| 75               | 107.41 | 105.17     | 106.45  | 105.87      | 103.25 |
| 90               | 121.62 | 122.53     | 122.42  | 123.13      | 121.57 |
| 99               | 146.16 | 159.53     | 152.90  | 158.49      | 164.59 |

Como se mencionó anteriormente, la distribución de probabilidad Log-Pearson tipo III, que fue la que tuvo mejor ajuste con respecto al estadístico de prueba  $\chi^2$ , por tanto será la utilizada en la determinación de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia IDF y por ende del análisis hidrológico de la cuenca. La Tabla 15 resume estos valores

Tabla 15. P máx (24 hr) para el mejor ajuste de distribución Log-Pearson

| Período de retorno | P máx (24 hr) mm | Probabilidad de ocurrencia | Corrección intervalo fijo* |
|--------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
| (años)             | XT'(mm)          | F(xT)                      | XT (mm)                    |
| 1                  | 47.37            | 1.0%                       | 53.53                      |
| 2                  | 89.05            | 50.0%                      | 100.62                     |
| 5                  | 110.36           | 80.0%                      | 124.70                     |
| 10                 | 123.13           | 90.0%                      | 139.13                     |
| 25                 | 138.09           | 96.0%                      | 156.04                     |
| 50                 | 148.54           | 98.0%                      | 167.85                     |
| 100                | 158.49           | 99.0%                      | 179.10                     |

\* Se incrementa la precipitación P(24hr) en un 13%

#### 7.1.3.4 Intensidad, duración y frecuencia (IDF)

La Intensidad, duración y frecuencia (IDF) y el análisis de la precipitación máxima diaria, son las herramientas apropiadas para calcular los caudales de drenaje y diseñar apropiadamente las obras hidráulicas que los soporten, acorde a un período de retorno escogido o determinado con base en la normatividad vigente.

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración – Frecuencia es la siguiente:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Dónde:

$I$ : Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

$T$ : Periodo de retorno, en años.

$t$ : Duración de la lluvia, en minutos (min).

$K, m, n$ : Parámetros de ajuste que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

El procedimiento que se sigue a continuación, para obtener tanto las curvas IDF de la cuenca, como los hietogramas de diseño, basado en la información pluviométrica diaria de la estación SP Aeropuerto Alfonso López de la ciudad de Valledupar, se resume enseguida y se apoyó en el blog o página web denominada HidrojING<sup>19</sup>, quien suministró las hojas de cálculo en Excel para realizarlo.

---

<sup>19</sup> [www.hidrojing.com](http://www.hidrojing.com)

Una vez determinado el mejor ajuste de distribución por Log-Pearson, se procede a determinar las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias, mostrado en la Tabla 16, usando para ello los coeficientes para lluvias de 24 horas, establecidos por D.F Campos A.

Tabla 16. P máx (mm) para diferentes tiempos de duración de lluvia

| Tiempo de duración | Coeficiente para lluvia de 24 hr* | Cociente   | Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración |        |        |         |         |         |          |
|--------------------|-----------------------------------|------------|--|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
|                    |                                   |            | 1 año  | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años |
| 24 hr              | 1.00                              | X24 = 100% | 53.53  | 100.62 | 124.70 | 139.13  | 156.04  | 167.85  | 179.10   |
| 18 hr              | 0.91                              | X18 = 91%  | 48.71  | 91.57  | 113.48 | 126.61  | 142.00  | 152.74  | 162.98   |
| 12 hr              | 0.80                              | X12 = 80%  | 42.82  | 80.50  | 99.76  | 111.31  | 124.83  | 134.28  | 143.28   |
| 8 hr               | 0.68                              | X8 = 68%   | 36.40  | 68.42  | 84.80  | 94.61   | 106.11  | 114.14  | 121.79   |
| 6 hr               | 0.61                              | X6 = 61%   | 32.65  | 61.38  | 76.07  | 84.87   | 95.19   | 102.39  | 109.25   |
| 5 hr               | 0.57                              | X5 = 57%   | 30.51  | 57.35  | 71.08  | 79.31   | 88.94   | 95.68   | 102.09   |
| 4 hr               | 0.52                              | X4 = 52%   | 27.84  | 52.32  | 64.85  | 72.35   | 81.14   | 87.28   | 93.13    |
| 3 hr               | 0.46                              | X3 = 46%   | 24.62  | 46.29  | 57.36  | 64.00   | 71.78   | 77.21   | 82.39    |
| 2 hr               | 0.39                              | X2 = 39%   | 20.88  | 39.24  | 48.63  | 54.26   | 60.86   | 65.46   | 69.85    |
| 1 hr               | 0.30                              | X1 = 30%   | 16.06  | 30.19  | 37.41  | 41.74   | 46.81   | 50.36   | 53.73    |

\*Fuente: D. F. Campos A., 1978

Si se dividen las precipitaciones máximas P máx (mm) entre el tiempo de duración ( $I = P_{(mm)} / t_{duración} (hr)$ ), se obtienen las intensidades de las lluvias en mm/hr, para los diferentes tiempos de duración y períodos de retorno, tal como se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Intensidad de la lluvia (mm/hr) a partir de Pd (mm)

| Tiempo de |      | Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno |        |        |         |         |         |          |
|-----------|------|---|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Hr        | min  | 1 años  | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años |
| 24 hr     | 1440 | 2.23  | 4.19   | 5.20   | 5.80    | 6.50    | 6.99    | 7.46     |
| 18 hr     | 1080 | 2.71  | 5.09   | 6.30   | 7.03    | 7.89    | 8.49    | 9.05     |
| 12 hr     | 720  | 3.57  | 6.71   | 8.31   | 9.28    | 10.40   | 11.19   | 11.94    |
| 8 hr      | 480  | 4.55  | 8.55   | 10.60  | 11.83   | 13.26   | 14.27   | 15.22    |
| 6 hr      | 360  | 5.44  | 10.23  | 12.68  | 14.15   | 15.86   | 17.06   | 18.21    |
| 5 hr      | 300  | 6.10  | 11.47  | 14.22  | 15.86   | 17.79   | 19.14   | 20.42    |
| 4 hr      | 240  | 6.96  | 13.08  | 16.21  | 18.09   | 20.29   | 21.82   | 23.28    |
| 3 hr      | 180  | 8.21  | 15.43  | 19.12  | 21.33   | 23.93   | 25.74   | 27.46    |
| 2 hr      | 120  | 10.44   | 19.62  | 24.32  | 27.13   | 30.43   | 32.73   | 34.92    |
| 1 hr      | 60   | 16.06   | 30.19  | 37.41  | 41.74   | 46.81   | 50.36   | 53.73    |

Realizado el anterior procedimiento, se efectúa el análisis de regresión para períodos de retorno entre 1 y 100 años, tal como muestra en las Tablas y figuras siguientes.

Tabla 18. Análisis de regresión para periodo de retorno de 1 año

| Nº        | x    | y      | ln x  | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|------|--------|-------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1440 | 2.23   | 7.27  | 0.80     | 5.83      | 52.89   |
| 2         | 1080 | 2.71   | 6.98  | 1.00     | 6.95      | 48.79   |
| 3         | 720  | 3.57   | 6.58  | 1.27     | 8.37      | 43.29   |
| 4         | 480  | 4.55   | 6.17  | 1.52     | 9.35      | 38.12   |
| 5         | 360  | 5.44   | 5.89  | 1.69     | 9.97      | 34.65   |
| 6         | 300  | 6.10   | 5.70  | 1.81     | 10.32     | 32.53   |
| 7         | 240  | 6.96   | 5.48  | 1.94     | 10.63     | 30.04   |
| 8         | 180  | 8.21   | 5.19  | 2.11     | 10.93     | 26.97   |
| 9         | 120  | 10.44  | 4.79  | 2.35     | 11.23     | 22.92   |
| 10        | 60   | 16.06  | 4.09  | 2.78     | 11.37     | 16.76   |
| 10        | 4980 | 66.26  | 58.16 | 17.25    | 94.96     | 346.94  |
| $Ln(d) =$ |      | 5.3101 | $d =$ | 202.3729 | $n =$     | 0.6164  |

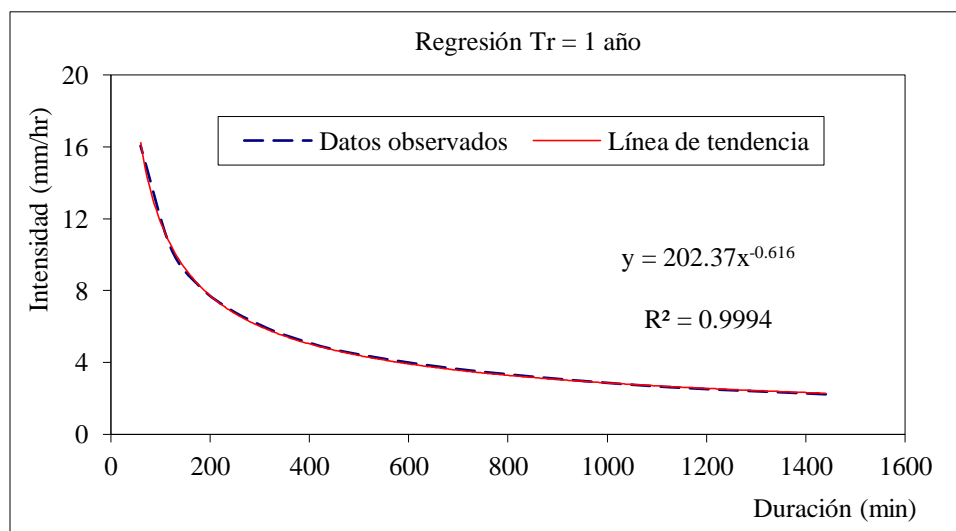


Figura 22. Curva de regresión para Tr 1 año

Tabla 19. Análisis de regresión para periodo de retorno de 2 años

| Nº        | x      | y      | ln x  | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|--------|--------|-------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1440   | 4.19   | 7.27  | 1.43     | 10.42     | 52.89   |
| 2         | 1080   | 5.09   | 6.98  | 1.63     | 11.36     | 48.79   |
| 3         | 720    | 6.71   | 6.58  | 1.90     | 12.52     | 43.29   |
| 4         | 480    | 8.55   | 6.17  | 2.15     | 13.25     | 38.12   |
| 5         | 360    | 10.23  | 5.89  | 2.33     | 13.69     | 34.65   |
| 6         | 300    | 11.47  | 5.70  | 2.44     | 13.92     | 32.53   |
| 7         | 240    | 13.08  | 5.48  | 2.57     | 14.09     | 30.04   |
| 8         | 180    | 15.43  | 5.19  | 2.74     | 14.21     | 26.97   |
| 9         | 120    | 19.62  | 4.79  | 2.98     | 14.25     | 22.92   |
| 10        | 60     | 30.19  | 4.09  | 3.41     | 13.95     | 16.76   |
| 10        | 4980   | 124.56 | 58.16 | 23.57    | 131.66    | 346.94  |
| $Ln(d) =$ | 5.9412 |        | $d =$ | 380.4027 | $n =$     | 0.6164  |

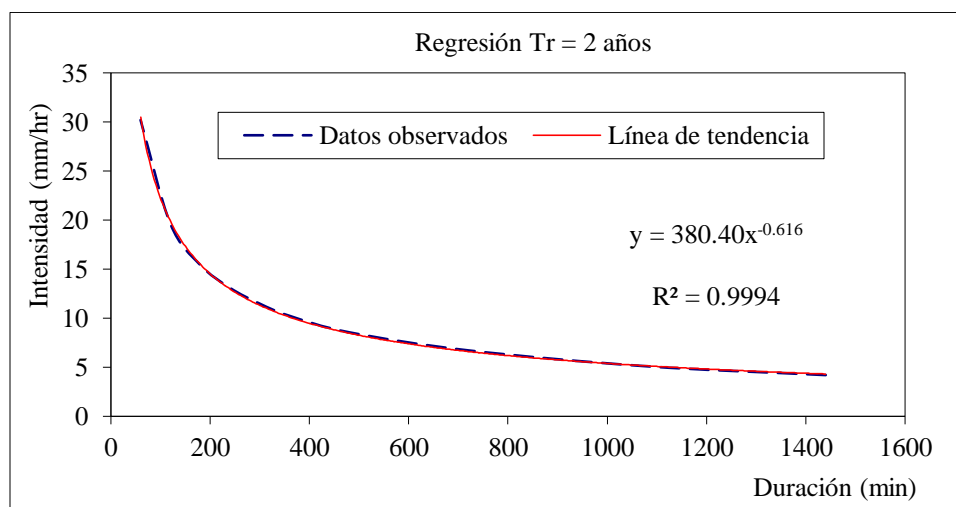


Figura 23. Curva de regresión para Tr 2 años

Tabla 20. Análisis de regresión para periodo de retorno de 5 años

| Nº        | x      | y      | ln x  | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|--------|--------|-------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1440   | 5.20   | 7.27  | 1.65     | 11.98     | 52.89   |
| 2         | 1080   | 6.30   | 6.98  | 1.84     | 12.86     | 48.79   |
| 3         | 720    | 8.31   | 6.58  | 2.12     | 13.93     | 43.29   |
| 4         | 480    | 10.60  | 6.17  | 2.36     | 14.58     | 38.12   |
| 5         | 360    | 12.68  | 5.89  | 2.54     | 14.95     | 34.65   |
| 6         | 300    | 14.22  | 5.70  | 2.65     | 15.14     | 32.53   |
| 7         | 240    | 16.21  | 5.48  | 2.79     | 15.27     | 30.04   |
| 8         | 180    | 19.12  | 5.19  | 2.95     | 15.32     | 26.97   |
| 9         | 120    | 24.32  | 4.79  | 3.19     | 15.28     | 22.92   |
| 10        | 60     | 37.41  | 4.09  | 3.62     | 14.83     | 16.76   |
| 10        | 4980   | 154.37 | 58.16 | 25.71    | 144.14    | 346.94  |
| $Ln(d) =$ | 6.1558 |        | $d =$ | 471.4394 | $n =$     | 0.6164  |

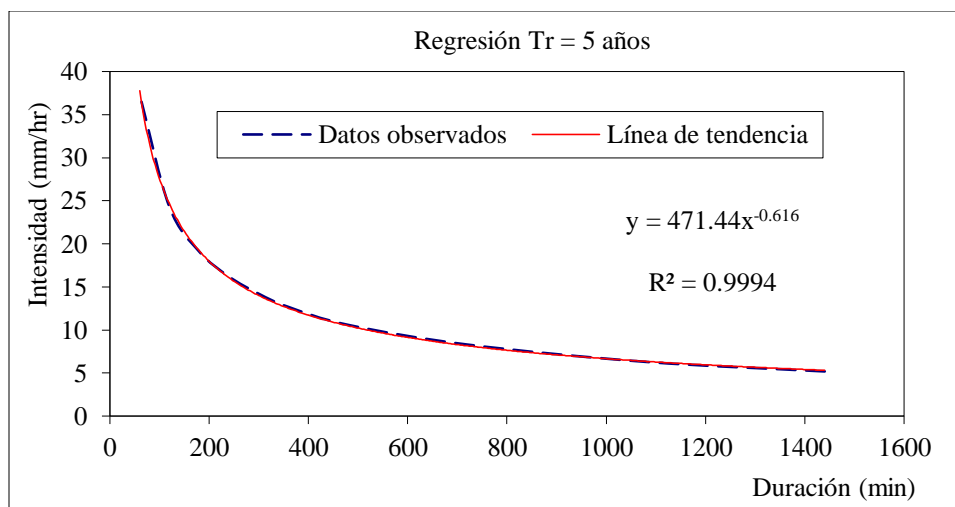


Figura 24. Curva de regresión para Tr 5 años

Tabla 21. Análisis de regresión para periodo de retorno de 10 años

| Nº        | x    | y      | ln x  | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|------|--------|-------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1440 | 5.80   | 7.27  | 1.76     | 12.78     | 52.89   |
| 2         | 1080 | 7.03   | 6.98  | 1.95     | 13.63     | 48.79   |
| 3         | 720  | 9.28   | 6.58  | 2.23     | 14.65     | 43.29   |
| 4         | 480  | 11.83  | 6.17  | 2.47     | 15.25     | 38.12   |
| 5         | 360  | 14.15  | 5.89  | 2.65     | 15.59     | 34.65   |
| 6         | 300  | 15.86  | 5.70  | 2.76     | 15.76     | 32.53   |
| 7         | 240  | 18.09  | 5.48  | 2.90     | 15.87     | 30.04   |
| 8         | 180  | 21.33  | 5.19  | 3.06     | 15.89     | 26.97   |
| 9         | 120  | 27.13  | 4.79  | 3.30     | 15.80     | 22.92   |
| 10        | 60   | 41.74  | 4.09  | 3.73     | 15.28     | 16.76   |
| 10        | 4980 | 172.23 | 58.16 | 26.81    | 150.51    | 346.94  |
| $Ln(d) =$ |      | 6.2653 | $d =$ | 526.0013 | $n =$     | 0.6164  |

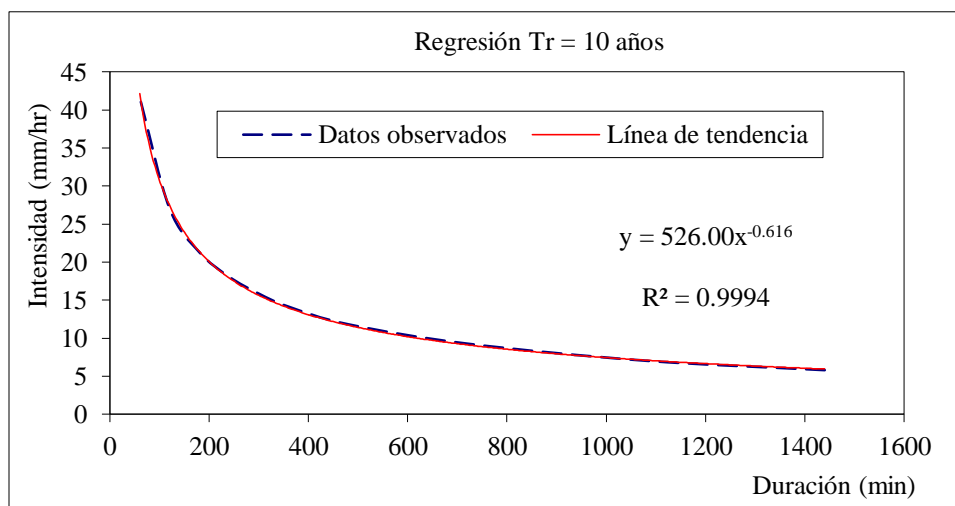


Figura 25. Curva de regresión para Tr 10 años

Tabla 22. Análisis de regresión para periodo de retorno de 25 años

| Nº        | x      | y      | ln x  | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|--------|--------|-------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1440   | 6.50   | 7.27  | 1.87     | 13.61     | 52.89   |
| 2         | 1080   | 7.89   | 6.98  | 2.07     | 14.43     | 48.79   |
| 3         | 720    | 10.40  | 6.58  | 2.34     | 15.41     | 43.29   |
| 4         | 480    | 13.26  | 6.17  | 2.59     | 15.96     | 38.12   |
| 5         | 360    | 15.86  | 5.89  | 2.76     | 16.27     | 34.65   |
| 6         | 300    | 17.79  | 5.70  | 2.88     | 16.42     | 32.53   |
| 7         | 240    | 20.29  | 5.48  | 3.01     | 16.50     | 30.04   |
| 8         | 180    | 23.93  | 5.19  | 3.17     | 16.49     | 26.97   |
| 9         | 120    | 30.43  | 4.79  | 3.42     | 16.35     | 22.92   |
| 10        | 60     | 46.81  | 4.09  | 3.85     | 15.75     | 16.76   |
| 10        | 4980   | 193.16 | 58.16 | 27.95    | 157.18    | 346.94  |
| $Ln(d) =$ | 6.3800 |        | $d =$ | 589.9228 | $n =$     | 0.6164  |

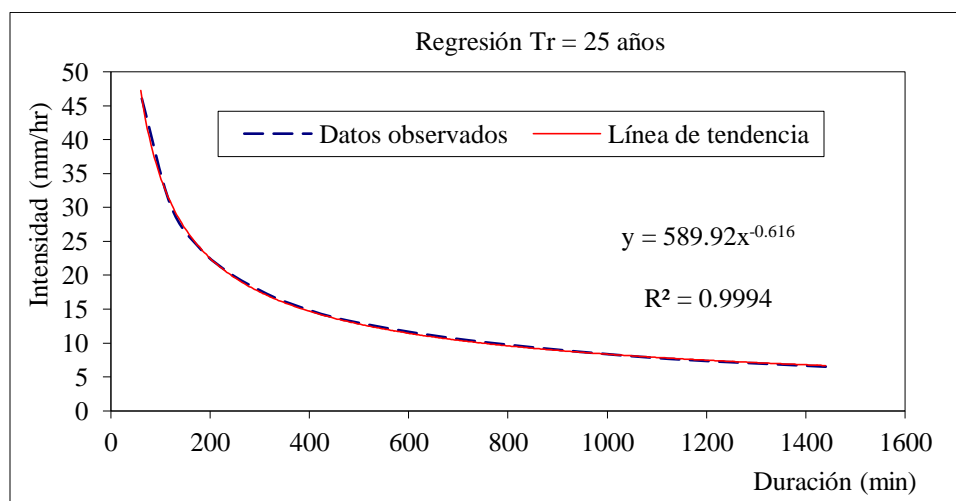


Figura 26. Curva de regresión para Tr 25 años

Tabla 23. Análisis de regresión para periodo de retorno de 50 años

| Nº        | x      | y      | ln x  | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|--------|--------|-------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1440   | 6.99   | 7.27  | 1.95     | 14.14     | 52.89   |
| 2         | 1080   | 8.49   | 6.98  | 2.14     | 14.94     | 48.79   |
| 3         | 720    | 11.19  | 6.58  | 2.42     | 15.89     | 43.29   |
| 4         | 480    | 14.27  | 6.17  | 2.66     | 16.41     | 38.12   |
| 5         | 360    | 17.06  | 5.89  | 2.84     | 16.70     | 34.65   |
| 6         | 300    | 19.14  | 5.70  | 2.95     | 16.83     | 32.53   |
| 7         | 240    | 21.82  | 5.48  | 3.08     | 16.90     | 30.04   |
| 8         | 180    | 25.74  | 5.19  | 3.25     | 16.87     | 26.97   |
| 9         | 120    | 32.73  | 4.79  | 3.49     | 16.70     | 22.92   |
| 10        | 60     | 50.36  | 4.09  | 3.92     | 16.05     | 16.76   |
| 10        | 4980   | 207.78 | 58.16 | 28.68    | 161.42    | 346.94  |
| $Ln(d) =$ | 6.4529 |        | $d =$ | 634.5649 | $n =$     | 0.6164  |



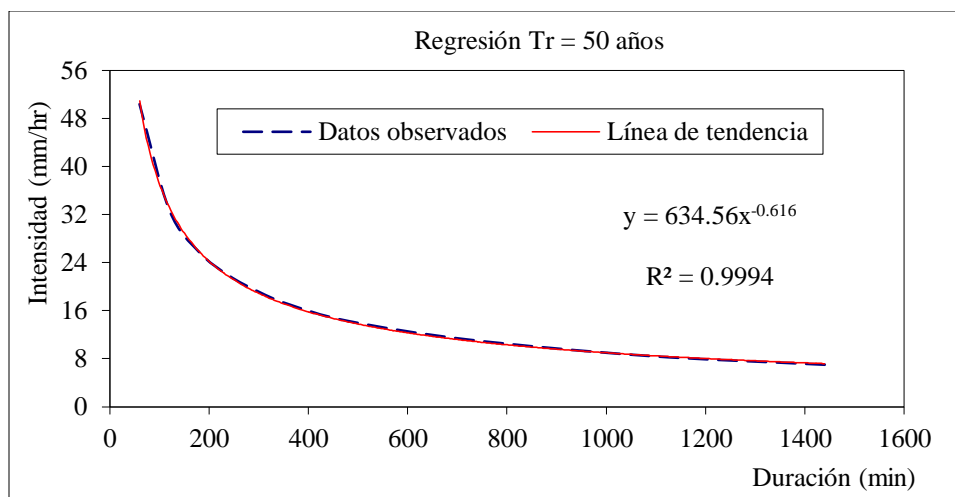


Figura 27. Curva de regresión para Tr 50 años

Tabla 24. Análisis de regresión para periodo de retorno de 100 años

| Nº        | x    | y      | ln x  | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|------|--------|-------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1440 | 7.46   | 7.27  | 2.01     | 14.62     | 52.89   |
| 2         | 1080 | 9.05   | 6.98  | 2.20     | 15.39     | 48.79   |
| 3         | 720  | 11.94  | 6.58  | 2.48     | 16.32     | 43.29   |
| 4         | 480  | 15.22  | 6.17  | 2.72     | 16.81     | 38.12   |
| 5         | 360  | 18.21  | 5.89  | 2.90     | 17.08     | 34.65   |
| 6         | 300  | 20.42  | 5.70  | 3.02     | 17.20     | 32.53   |
| 7         | 240  | 23.28  | 5.48  | 3.15     | 17.25     | 30.04   |
| 8         | 180  | 27.46  | 5.19  | 3.31     | 17.20     | 26.97   |
| 9         | 120  | 34.92  | 4.79  | 3.55     | 17.01     | 22.92   |
| 10        | 60   | 53.73  | 4.09  | 3.98     | 16.31     | 16.76   |
| 10        | 4980 | 221.70 | 58.16 | 29.33    | 165.19    | 346.94  |
| $Ln(d) =$ |      | 6.5178 | $d =$ | 677.0860 | $n =$     | 0.6164  |

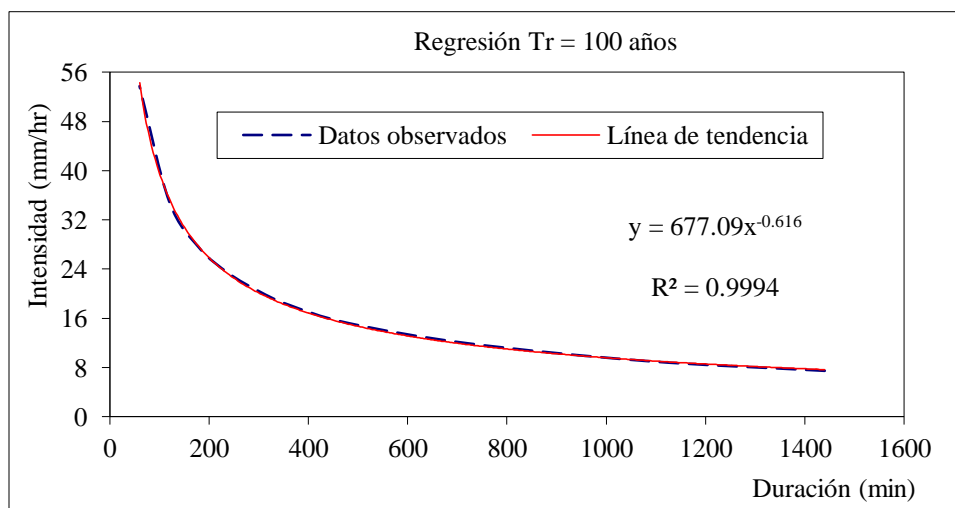


Figura 28. Curva de regresión para Tr 100 años

Las Tablas 25 y 26 y Figura 29, resumen el análisis de regresión y en función del cambio de variable realizado, se efectúa una regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener los valores  $K$ ,  $m$  y  $n$  de la ecuación de las curvas IDF.

Tabla 25. Resumen de aplicación de regresión

| Periodo de retorno (años) | Término ctte. de regresión (d) | Coef. De regresión [n] |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 1                         | 202.37290                      | 0.61639                |
| 2                         | 380.40272                      | 0.61639                |
| 5                         | 471.43944                      | 0.61639                |
| 10                        | 526.00130                      | 0.61639                |
| 25                        | 589.92279                      | 0.61639                |
| 50                        | 634.56487                      | 0.61639                |
| 100                       | 677.08603                      | 0.61639                |
| Promedio =                | 497.39858                      | 0.61639                |

Tabla 26. Regresión potencial

| Nº        | x   | y         | ln x    | ln y     | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|-----------|-----|-----------|---------|----------|-----------|---------|
| 1         | 1   | 202.3729  | 0.0100  | 5.3101   | 0.0528    | 0.0001  |
| 2         | 2   | 380.4027  | 0.6931  | 5.9412   | 4.1181    | 0.4805  |
| 3         | 5   | 471.4394  | 1.6094  | 6.1558   | 9.9074    | 2.5903  |
| 4         | 10  | 526.0013  | 2.3026  | 6.2653   | 14.4264   | 5.3019  |
| 5         | 25  | 589.9228  | 3.2189  | 6.3800   | 20.5364   | 10.3612 |
| 6         | 50  | 634.5649  | 3.9120  | 6.4529   | 25.2440   | 15.3039 |
| 7         | 100 | 677.0860  | 4.6052  | 6.5178   | 30.0156   | 21.2076 |
| 7         |     | 3481.7900 | 16.3512 | 43.0232  | 104.3008  | 55.2454 |
| $Ln(K) =$ |     | 5.62509   | $K =$   | 277.2974 | $m =$     | 0.2231  |

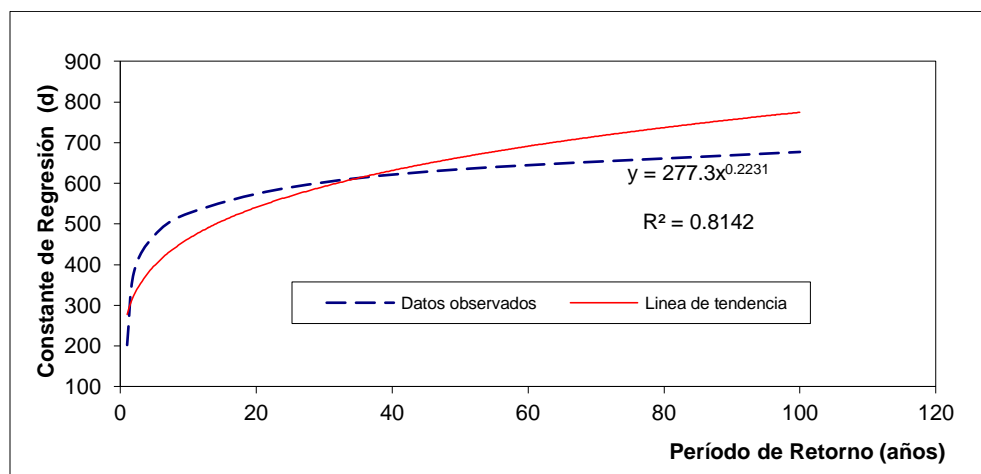


Figura 29. Curva de regresión potencial

Al parecer la línea de tendencia o regresión potencia no tiene un buen ajuste; pero si desarrollamos la ecuación de la línea de tendencia  $y = 277.3x^{0.2231}$  y seguimos el procedimiento desarrollado en la Tabla 26, encontramos valores de  $K= 277.3000$  y  $m=0.2231$ , muy cercanos a los valores estimados anteriormente, alejándose solo un 0.001% de la primera y 0.0115% de la segunda variable, lo que permite inferir que se puede aceptar sin ningún condicionamiento, tanto el procedimiento descrito en la Tabla 26 como la curva y ecuación de ajuste potencial presentada en la Figura 29.

Reemplazando los valores de  $K=277.29744$ ,  $m=0.22307$  y  $n=0.61639$  en la ecuación general que representa una curva IDF, se tiene:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

$$I = \frac{277.29744 * T^{0.22307}}{t^{0.61639}}$$

Con esta ecuación se obtienen los valores de las intensidades de las lluvias en mm/hr, con base en el periodo de retorno y la duración del evento. Inicialmente la duración de la tormenta se hizo igual al tiempo de concentración ( $T_c$ ) medio de las subcuencas analizadas, es decir 45 minutos; pero siendo que se pueden presentar lluvias con mayor duración, se consideró prudente hacer análisis con duraciones de 90 y 180 minutos. Las Tablas 27, 28 y 29 muestran los valores de intensidad de lluvias hasta con 100 años de retorno y duraciones de 45, 90 y 180 minutos respectivamente. La Figura 30 muestra las curvas IDF del área de estudio, que abarca esas duraciones de tormentas.

Tabla 27. Valores de Intensidad de lluvias (mm/hr). Duración 45 min

| Duración<br>(minutos) | Periodo de retorno |        |        |         |         |         |          |
|-----------------------|--------------------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
|                       | 1 años             | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años |
| 5                     | 102.83             | 120.02 | 147.24 | 171.86  | 210.84  | 246.10  | 287.25   |
| 10                    | 67.07              | 78.29  | 96.05  | 112.11  | 137.53  | 160.53  | 187.37   |
| 15                    | 52.24              | 60.98  | 74.81  | 87.32   | 107.12  | 125.03  | 145.94   |
| 20                    | 43.75              | 51.07  | 62.65  | 73.13   | 89.71   | 104.71  | 122.22   |
| 25                    | 38.13              | 44.51  | 54.60  | 63.73   | 78.18   | 91.26   | 106.52   |
| 30                    | 34.08              | 39.78  | 48.80  | 56.96   | 69.87   | 81.56   | 95.20    |
| 35                    | 30.99              | 36.17  | 44.37  | 51.79   | 63.54   | 74.17   | 86.57    |
| 40                    | 28.54              | 33.31  | 40.87  | 47.70   | 58.52   | 68.31   | 79.73    |
| 45                    | 26.54              | 30.98  | 38.01  | 44.36   | 54.42   | 63.52   | 74.14    |

Tabla 28. Valores de Intensidad de lluvias (mm/hr). Duración 90 min

| Duración<br>(minutos) | Periodo de retorno (años) |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       | 1                         | 2      | 5      | 10     | 25     | 50     | 100    |
| 5                     | 102.83                    | 120.02 | 147.24 | 171.86 | 210.84 | 246.10 | 287.25 |
| 10                    | 67.07                     | 78.29  | 96.05  | 112.11 | 137.53 | 160.53 | 187.37 |
| 15                    | 52.24                     | 60.98  | 74.81  | 87.32  | 107.12 | 125.03 | 145.94 |
| 20                    | 43.75                     | 51.07  | 62.65  | 73.13  | 89.71  | 104.71 | 122.22 |
| 25                    | 38.13                     | 44.51  | 54.60  | 63.73  | 78.18  | 91.26  | 106.52 |
| 30                    | 34.08                     | 39.78  | 48.80  | 56.96  | 69.87  | 81.56  | 95.20  |
| 35                    | 30.99                     | 36.17  | 44.37  | 51.79  | 63.54  | 74.17  | 86.57  |
| 40                    | 28.54                     | 33.31  | 40.87  | 47.70  | 58.52  | 68.31  | 79.73  |
| 45                    | 26.54                     | 30.98  | 38.01  | 44.36  | 54.42  | 63.52  | 74.14  |
| 50                    | 24.87                     | 29.03  | 35.62  | 41.57  | 51.00  | 59.53  | 69.48  |
| 55                    | 23.45                     | 27.38  | 33.58  | 39.20  | 48.09  | 56.13  | 65.52  |
| 60                    | 22.23                     | 25.95  | 31.83  | 37.15  | 45.58  | 53.20  | 62.10  |
| 65                    | 21.16                     | 24.70  | 30.30  | 35.36  | 43.38  | 50.64  | 59.11  |
| 70                    | 20.21                     | 23.59  | 28.95  | 33.79  | 41.45  | 48.38  | 56.47  |
| 75                    | 19.37                     | 22.61  | 27.74  | 32.38  | 39.72  | 46.36  | 54.12  |
| 80                    | 18.62                     | 21.73  | 26.66  | 31.12  | 38.17  | 44.56  | 52.01  |
| 85                    | 17.93                     | 20.93  | 25.68  | 29.97  | 36.77  | 42.92  | 50.10  |
| 90                    | 17.31                     | 20.21  | 24.79  | 28.94  | 35.50  | 41.44  | 48.36  |

Tabla 29. Valores de Intensidad de lluvias (mm/hr). Duración 180 min

| Duración<br>(minutos) | Periodo de retorno (años) |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       | 1                         | 2      | 5      | 10     | 25     | 50     | 100    |
| 5                     | 102.83                    | 120.02 | 147.24 | 171.86 | 210.84 | 246.10 | 287.25 |
| 10                    | 67.07                     | 78.29  | 96.05  | 112.11 | 137.53 | 160.53 | 187.37 |
| 15                    | 52.24                     | 60.98  | 74.81  | 87.32  | 107.12 | 125.03 | 145.94 |
| 20                    | 43.75                     | 51.07  | 62.65  | 73.13  | 89.71  | 104.71 | 122.22 |
| 25                    | 38.13                     | 44.51  | 54.60  | 63.73  | 78.18  | 91.26  | 106.52 |
| 30                    | 34.08                     | 39.78  | 48.80  | 56.96  | 69.87  | 81.56  | 95.20  |
| 35                    | 30.99                     | 36.17  | 44.37  | 51.79  | 63.54  | 74.17  | 86.57  |
| 40                    | 28.54                     | 33.31  | 40.87  | 47.70  | 58.52  | 68.31  | 79.73  |
| 45                    | 26.54                     | 30.98  | 38.01  | 44.36  | 54.42  | 63.52  | 74.14  |
| 50                    | 24.87                     | 29.03  | 35.62  | 41.57  | 51.00  | 59.53  | 69.48  |
| 55                    | 23.45                     | 27.38  | 33.58  | 39.20  | 48.09  | 56.13  | 65.52  |
| 60                    | 22.23                     | 25.95  | 31.83  | 37.15  | 45.58  | 53.20  | 62.10  |
| 65                    | 21.16                     | 24.70  | 30.30  | 35.36  | 43.38  | 50.64  | 59.11  |
| 70                    | 20.21                     | 23.59  | 28.95  | 33.79  | 41.45  | 48.38  | 56.47  |
| 75                    | 19.37                     | 22.61  | 27.74  | 32.38  | 39.72  | 46.36  | 54.12  |
| 80                    | 18.62                     | 21.73  | 26.66  | 31.12  | 38.17  | 44.56  | 52.01  |
| 85                    | 17.93                     | 20.93  | 25.68  | 29.97  | 36.77  | 42.92  | 50.10  |
| 90                    | 17.31                     | 20.21  | 24.79  | 28.94  | 35.50  | 41.44  | 48.36  |
| 95                    | 16.75                     | 19.55  | 23.98  | 27.99  | 34.34  | 40.08  | 46.78  |
| 100                   | 16.22                     | 18.94  | 23.23  | 27.12  | 33.27  | 38.83  | 45.32  |
| 105                   | 15.74                     | 18.38  | 22.54  | 26.31  | 32.28  | 37.68  | 43.98  |
| 110                   | 15.30                     | 17.86  | 21.91  | 25.57  | 31.37  | 36.61  | 42.74  |
| 115                   | 14.89                     | 17.37  | 21.31  | 24.88  | 30.52  | 35.63  | 41.58  |
| 120                   | 14.50                     | 16.92  | 20.76  | 24.23  | 29.73  | 34.70  | 40.51  |
| 125                   | 14.14                     | 16.50  | 20.25  | 23.63  | 28.99  | 33.84  | 39.50  |
| 130                   | 13.80                     | 16.11  | 19.76  | 23.07  | 28.30  | 33.03  | 38.56  |
| 135                   | 13.48                     | 15.74  | 19.31  | 22.54  | 27.65  | 32.27  | 37.67  |
| 140                   | 13.19                     | 15.39  | 18.88  | 22.04  | 27.04  | 31.56  | 36.83  |
| 145                   | 12.90                     | 15.06  | 18.48  | 21.57  | 26.46  | 30.88  | 36.05  |
| 150                   | 12.64                     | 14.75  | 18.09  | 21.12  | 25.91  | 30.24  | 35.30  |
| 155                   | 12.38                     | 14.45  | 17.73  | 20.70  | 25.39  | 29.64  | 34.59  |
| 160                   | 12.14                     | 14.17  | 17.39  | 20.30  | 24.90  | 29.06  | 33.92  |
| 165                   | 11.92                     | 13.91  | 17.06  | 19.92  | 24.43  | 28.52  | 33.29  |
| 170                   | 11.70                     | 13.65  | 16.75  | 19.55  | 23.99  | 28.00  | 32.68  |
| 175                   | 11.49                     | 13.41  | 16.45  | 19.21  | 23.56  | 27.50  | 32.10  |
| 180                   | 11.29                     | 13.18  | 16.17  | 18.88  | 23.16  | 27.03  | 31.55  |

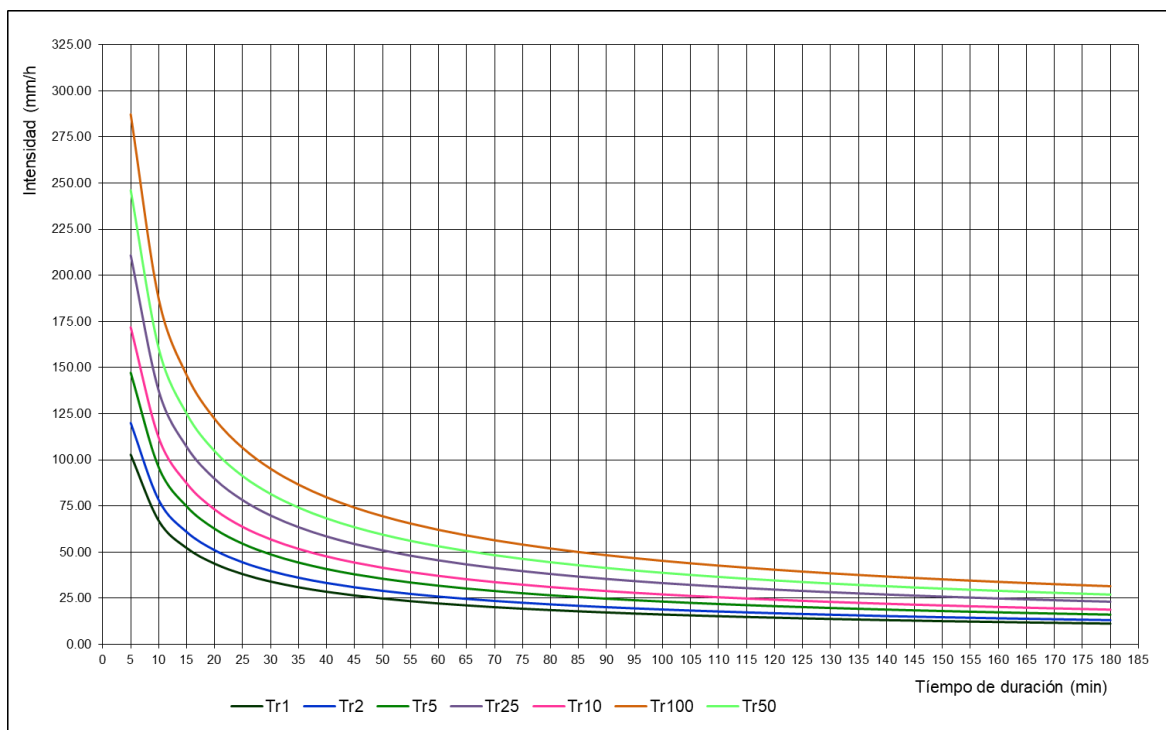


Figura 30. Curvas de Intensidad, duración y frecuencia. Duración 180 min

#### 7.1.3.5 Hietogramas sintéticos para diferentes periodos de retorno.

Con los valores de intensidad en mm/hora y los diferentes tiempos de duración de las lluvias, se determinaron los hietogramas con tiempo de retorno de hasta 100 años, usando el método de bloques alternos, propuesto por Ven Te Chow et al, en 1999.

Las Tablas 30 a 36 muestran los hietogramas de precipitación y la distribución de la intensidad de la lluvia para cada tiempo de retorno, con lluvias de duración 45 minutos. Las Figuras 31 y 32 expresan gráficamente las distribuciones con 25 años de retorno.

Igual procedimiento se desarrolló para duraciones de tormentas de 90 y 180 minutos.

Tabla 30. Hietograma para período de retorno de 1 año. Duración 45 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial<br>(mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm)* | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 102.83               | 8.57                               | 8.57                  | 102.83                          | 0.88                                | 10.55                             |
| 10                | 67.07                | 11.18                              | 2.61                  | 31.32                           | 1.04                                | 12.46                             |
| 15                | 52.24                | 13.06                              | 1.88                  | 22.58                           | 1.30                                | 15.64                             |
| 20                | 43.75                | 14.58                              | 1.52                  | 18.29                           | 1.88                                | 22.58                             |
| 25                | 38.13                | 15.89                              | 1.30                  | 15.64                           | 8.57                                | 102.83                            |
| 30                | 34.08                | 17.04                              | 1.15                  | 13.81                           | 2.61                                | 31.32                             |
| 35                | 30.99                | 18.08                              | 1.04                  | 12.46                           | 1.52                                | 18.29                             |
| 40                | 28.54                | 19.03                              | 0.95                  | 11.40                           | 1.15                                | 13.81                             |
| 45                | 26.54                | 19.91                              | 0.88                  | 10.55                           | 0.95                                | 11.40                             |

\* Método de bloques alternos, Chow et al. 1999

Tabla 31. Hietograma para período de retorno de 2 años. Duración 45 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial<br>(mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm)* | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 120.02               | 10.00                              | 10.00                 | 120.02                          | 1.03                                | 12.32                             |
| 10                | 78.29                | 13.05                              | 3.05                  | 36.56                           | 1.21                                | 14.54                             |
| 15                | 60.98                | 15.24                              | 2.20                  | 26.35                           | 1.52                                | 18.26                             |
| 20                | 51.07                | 17.02                              | 1.78                  | 21.34                           | 2.20                                | 26.35                             |
| 25                | 44.51                | 18.54                              | 1.52                  | 18.26                           | 10.00                               | 120.02                            |
| 30                | 39.78                | 19.89                              | 1.34                  | 16.12                           | 3.05                                | 36.56                             |
| 35                | 36.17                | 21.10                              | 1.21                  | 14.54                           | 1.78                                | 21.34                             |
| 40                | 33.31                | 22.21                              | 1.11                  | 13.31                           | 1.34                                | 16.12                             |
| 45                | 30.98                | 23.23                              | 1.03                  | 12.32                           | 1.11                                | 13.31                             |

Tabla 32. Hietograma para período de retorno de 5 años. Duración 45 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial<br>(mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm)* | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 147.24               | 12.27                              | 12.27                 | 147.24                          | 1.26                                | 15.11                             |
| 10                | 96.05                | 16.01                              | 3.74                  | 44.85                           | 1.49                                | 17.84                             |
| 15                | 74.81                | 18.70                              | 2.69                  | 32.33                           | 1.87                                | 22.40                             |
| 20                | 62.65                | 20.88                              | 2.18                  | 26.19                           | 2.69                                | 32.33                             |
| 25                | 54.60                | 22.75                              | 1.87                  | 22.40                           | 12.27                               | 147.24                            |
| 30                | 48.80                | 24.40                              | 1.65                  | 19.78                           | 3.74                                | 44.85                             |
| 35                | 44.37                | 25.88                              | 1.49                  | 17.84                           | 2.18                                | 26.19                             |
| 40                | 40.87                | 27.25                              | 1.36                  | 16.33                           | 1.65                                | 19.78                             |
| 45                | 38.01                | 28.50                              | 1.26                  | 15.11                           | 1.36                                | 16.33                             |

Tabla 33. Hietograma para período de retorno de 10 años. Duración 45 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial<br>(mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm)* | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 171.86               | 14.32                              | 14.32                 | 171.86                          | 1.47                                | 17.64                             |
| 10                | 112.11               | 18.68                              | 4.36                  | 52.35                           | 1.73                                | 20.82                             |
| 15                | 87.32                | 21.83                              | 3.14                  | 37.73                           | 2.18                                | 26.14                             |
| 20                | 73.13                | 24.38                              | 2.55                  | 30.56                           | 3.14                                | 37.73                             |
| 25                | 63.73                | 26.55                              | 2.18                  | 26.14                           | 14.32                               | 171.86                            |
| 30                | 56.96                | 28.48                              | 1.92                  | 23.08                           | 4.36                                | 52.35                             |
| 35                | 51.79                | 30.21                              | 1.73                  | 20.82                           | 2.55                                | 30.56                             |
| 40                | 47.70                | 31.80                              | 1.59                  | 19.06                           | 1.92                                | 23.08                             |
| 45                | 44.36                | 33.27                              | 1.47                  | 17.64                           | 1.59                                | 19.06                             |

Tabla 34. Hietograma para período de retorno de 25 años. Duración 45 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial<br>(mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm)* | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 210.84               | 17.57                              | 17.57                 | 210.84                          | 1.80                                | 21.64                             |
| 10                | 137.53               | 22.92                              | 5.35                  | 64.22                           | 2.13                                | 25.54                             |
| 15                | 107.12               | 26.78                              | 3.86                  | 46.29                           | 2.67                                | 32.07                             |
| 20                | 89.71                | 29.90                              | 3.12                  | 37.50                           | 3.86                                | 46.29                             |
| 25                | 78.18                | 32.58                              | 2.67                  | 32.07                           | 17.57                               | 210.84                            |
| 30                | 69.87                | 34.94                              | 2.36                  | 28.32                           | 5.35                                | 64.22                             |
| 35                | 63.54                | 37.07                              | 2.13                  | 25.54                           | 3.12                                | 37.50                             |
| 40                | 58.52                | 39.01                              | 1.95                  | 23.38                           | 2.36                                | 28.32                             |
| 45                | 54.42                | 40.82                              | 1.80                  | 21.64                           | 1.95                                | 23.38                             |

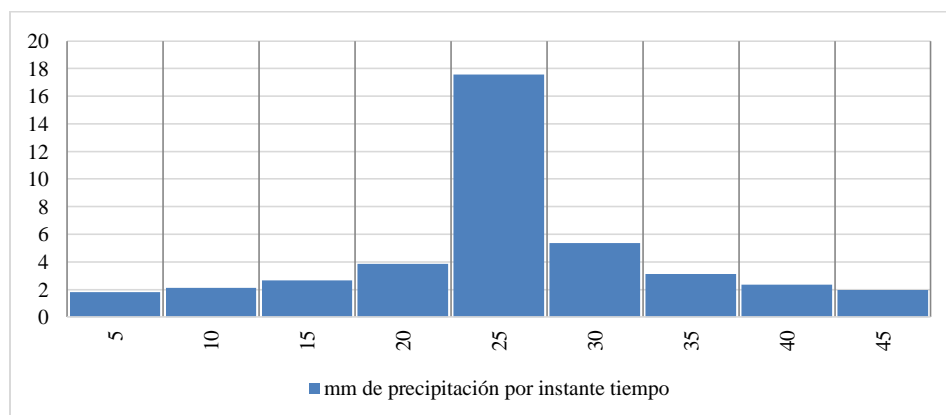


Figura 31. Hietograma de precipitación Tr 25 años. Duración 45 min



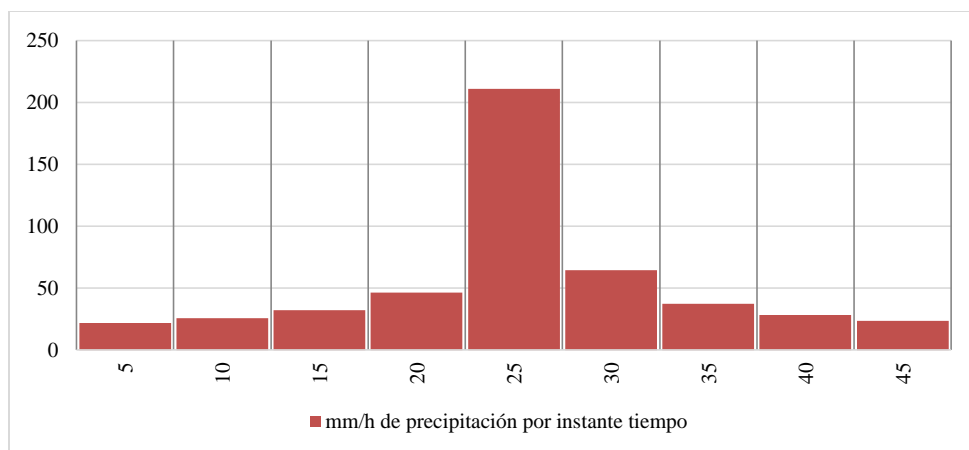


Figura 32. Distribución intensidad de precipitación Tr 25 años. Duración 45 min

Tabla 35. Hietograma para período de retorno de 50 años. Duración 45 min

| Duración (min) | Intensidad (mm/h) | Precipitación acumulada (mm) | Precipitación (mm) | Intensidad parcial (mm/h) | Precipitación Alternada (mm)* | Int. Parcial Alternada (mm) |
|----------------|-------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 5              | 246.10            | 20.51                        | 20.51              | 246.10                    | 2.10                          | 25.26                       |
| 10             | 160.53            | 26.76                        | 6.25               | 74.96                     | 2.48                          | 29.81                       |
| 15             | 125.03            | 31.26                        | 4.50               | 54.03                     | 3.12                          | 37.43                       |
| 20             | 104.71            | 34.90                        | 3.65               | 43.77                     | 4.50                          | 54.03                       |
| 25             | 91.26             | 38.02                        | 3.12               | 37.43                     | 20.51                         | 246.10                      |
| 30             | 81.56             | 40.78                        | 2.75               | 33.06                     | 6.25                          | 74.96                       |
| 35             | 74.17             | 43.26                        | 2.48               | 29.81                     | 3.65                          | 43.77                       |
| 40             | 68.31             | 45.54                        | 2.27               | 27.29                     | 2.75                          | 33.06                       |
| 45             | 63.52             | 47.64                        | 2.10               | 25.26                     | 2.27                          | 27.29                       |

Tabla 36. Hietograma para período de retorno de 100 años. Duración 45 min

| Duración (min) | Intensidad (mm/h) | Precipitación acumulada (mm) | Precipitación (mm) | Intensidad parcial (mm/h) | Precipitación Alternada (mm)* | Int. Parcial Alternada (mm) |
|----------------|-------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 5              | 287.25            | 23.94                        | 23.94              | 287.25                    | 2.46                          | 29.48                       |
| 10             | 187.37            | 31.23                        | 7.29               | 87.50                     | 2.90                          | 34.79                       |
| 15             | 145.94            | 36.48                        | 5.26               | 63.07                     | 3.64                          | 43.69                       |
| 20             | 122.22            | 40.74                        | 4.26               | 51.08                     | 5.26                          | 63.07                       |
| 25             | 106.52            | 44.38                        | 3.64               | 43.69                     | 23.94                         | 287.25                      |
| 30             | 95.20             | 47.60                        | 3.22               | 38.58                     | 7.29                          | 87.50                       |
| 35             | 86.57             | 50.50                        | 2.90               | 34.79                     | 4.26                          | 51.08                       |
| 40             | 79.73             | 53.15                        | 2.65               | 31.85                     | 3.22                          | 38.58                       |
| 45             | 74.14             | 55.61                        | 2.46               | 29.48                     | 2.65                          | 31.85                       |

Para duraciones de tormenta de 90 minutos se tienen los hietogramas para periodos de retorno desde 1 a 100 años, detallados en las Tablas 37 a 43 y Figuras 33 y 34.

Tabla 37. Hietograma para período de retorno de 1 año. Duración 90 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 102.83               | 8.57                               | 8.57                  | 102.83                       | 0.58                               | 7.01                              |
| 10                | 67.07                | 11.18                              | 2.61                  | 31.32                        | 0.63                               | 7.59                              |
| 15                | 52.24                | 13.06                              | 1.88                  | 22.58                        | 0.69                               | 8.32                              |
| 20                | 43.75                | 14.58                              | 1.52                  | 18.29                        | 0.77                               | 9.26                              |
| 25                | 38.13                | 15.89                              | 1.30                  | 15.64                        | 0.88                               | 10.55                             |
| 30                | 34.08                | 17.04                              | 1.15                  | 13.81                        | 1.04                               | 12.46                             |
| 35                | 30.99                | 18.08                              | 1.04                  | 12.46                        | 1.30                               | 15.64                             |
| 40                | 28.54                | 19.03                              | 0.95                  | 11.40                        | 1.88                               | 22.58                             |
| 45                | 26.54                | 19.91                              | 0.88                  | 10.55                        | 8.57                               | 102.83                            |
| 50                | 24.87                | 20.73                              | 0.82                  | 9.85                         | 2.61                               | 31.32                             |
| 55                | 23.45                | 21.50                              | 0.77                  | 9.26                         | 1.52                               | 18.29                             |
| 60                | 22.23                | 22.23                              | 0.73                  | 8.76                         | 1.15                               | 13.81                             |
| 65                | 21.16                | 22.92                              | 0.69                  | 8.32                         | 0.95                               | 11.40                             |
| 70                | 20.21                | 23.58                              | 0.66                  | 7.93                         | 0.82                               | 9.85                              |
| 75                | 19.37                | 24.22                              | 0.63                  | 7.59                         | 0.73                               | 8.76                              |
| 80                | 18.62                | 24.82                              | 0.61                  | 7.28                         | 0.66                               | 7.93                              |
| 85                | 17.93                | 25.41                              | 0.58                  | 7.01                         | 0.61                               | 7.28                              |
| 90                | 17.31                | 25.97                              | 0.56                  | 6.76                         | 0.56                               | 6.76                              |

Tabla 38. Hietograma para período de retorno de 2 años. Duración 90 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 120.02               | 10.00                              | 10.00                 | 120.02                       | 0.68                               | 8.18                              |
| 10                | 78.29                | 13.05                              | 3.05                  | 36.56                        | 0.74                               | 8.86                              |
| 15                | 60.98                | 15.24                              | 2.20                  | 26.35                        | 0.81                               | 9.71                              |
| 20                | 51.07                | 17.02                              | 1.78                  | 21.34                        | 0.90                               | 10.81                             |
| 25                | 44.51                | 18.54                              | 1.52                  | 18.26                        | 1.03                               | 12.32                             |
| 30                | 39.78                | 19.89                              | 1.34                  | 16.12                        | 1.21                               | 14.54                             |
| 35                | 36.17                | 21.10                              | 1.21                  | 14.54                        | 1.52                               | 18.26                             |
| 40                | 33.31                | 22.21                              | 1.11                  | 13.31                        | 2.20                               | 26.35                             |
| 45                | 30.98                | 23.23                              | 1.03                  | 12.32                        | 10.00                              | 120.02                            |
| 50                | 29.03                | 24.19                              | 0.96                  | 11.50                        | 3.05                               | 36.56                             |
| 55                | 27.38                | 25.09                              | 0.90                  | 10.81                        | 1.78                               | 21.34                             |
| 60                | 25.95                | 25.95                              | 0.85                  | 10.22                        | 1.34                               | 16.12                             |
| 65                | 24.70                | 26.76                              | 0.81                  | 9.71                         | 1.11                               | 13.31                             |
| 70                | 23.59                | 27.53                              | 0.77                  | 9.26                         | 0.96                               | 11.50                             |
| 75                | 22.61                | 28.26                              | 0.74                  | 8.86                         | 0.85                               | 10.22                             |
| 80                | 21.73                | 28.97                              | 0.71                  | 8.50                         | 0.77                               | 9.26                              |
| 85                | 20.93                | 29.66                              | 0.68                  | 8.18                         | 0.71                               | 8.50                              |
| 90                | 20.21                | 30.31                              | 0.66                  | 7.89                         | 0.66                               | 7.89                              |

Tabla 39. Hietograma para período de retorno de 5 años. Duración 90 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 147.24               | 12.27                              | 12.27                 | 147.24                       | 0.84                               | 10.04                             |
| 10                | 96.05                | 16.01                              | 3.74                  | 44.85                        | 0.91                               | 10.87                             |
| 15                | 74.81                | 18.70                              | 2.69                  | 32.33                        | 0.99                               | 11.91                             |
| 20                | 62.65                | 20.88                              | 2.18                  | 26.19                        | 1.11                               | 13.26                             |
| 25                | 54.60                | 22.75                              | 1.87                  | 22.40                        | 1.26                               | 15.11                             |
| 30                | 48.80                | 24.40                              | 1.65                  | 19.78                        | 1.49                               | 17.84                             |
| 35                | 44.37                | 25.88                              | 1.49                  | 17.84                        | 1.87                               | 22.40                             |
| 40                | 40.87                | 27.25                              | 1.36                  | 16.33                        | 2.69                               | 32.33                             |
| 45                | 38.01                | 28.50                              | 1.26                  | 15.11                        | 12.27                              | 147.24                            |
| 50                | 35.62                | 29.68                              | 1.18                  | 14.11                        | 3.74                               | 44.85                             |
| 55                | 33.58                | 30.79                              | 1.11                  | 13.26                        | 2.18                               | 26.19                             |
| 60                | 31.83                | 31.83                              | 1.04                  | 12.54                        | 1.65                               | 19.78                             |
| 65                | 30.30                | 32.82                              | 0.99                  | 11.91                        | 1.36                               | 16.33                             |
| 70                | 28.95                | 33.77                              | 0.95                  | 11.36                        | 1.18                               | 14.11                             |
| 75                | 27.74                | 34.68                              | 0.91                  | 10.87                        | 1.04                               | 12.54                             |
| 80                | 26.66                | 35.54                              | 0.87                  | 10.43                        | 0.95                               | 11.36                             |
| 85                | 25.68                | 36.38                              | 0.84                  | 10.04                        | 0.87                               | 10.43                             |
| 90                | 24.79                | 37.19                              | 0.81                  | 9.68                         | 0.81                               | 9.68                              |

Tabla 40. Hietograma para período de retorno de 10 años. Duración 90 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 171.86               | 14.32                              | 14.32                 | 171.86                       | 0.98                               | 11.71                             |
| 10                | 112.11               | 18.68                              | 4.36                  | 52.35                        | 1.06                               | 12.69                             |
| 15                | 87.32                | 21.83                              | 3.14                  | 37.73                        | 1.16                               | 13.90                             |
| 20                | 73.13                | 24.38                              | 2.55                  | 30.56                        | 1.29                               | 15.48                             |
| 25                | 63.73                | 26.55                              | 2.18                  | 26.14                        | 1.47                               | 17.64                             |
| 30                | 56.96                | 28.48                              | 1.92                  | 23.08                        | 1.73                               | 20.82                             |
| 35                | 51.79                | 30.21                              | 1.73                  | 20.82                        | 2.18                               | 26.14                             |
| 40                | 47.70                | 31.80                              | 1.59                  | 19.06                        | 3.14                               | 37.73                             |
| 45                | 44.36                | 33.27                              | 1.47                  | 17.64                        | 14.32                              | 171.86                            |
| 50                | 41.57                | 34.64                              | 1.37                  | 16.47                        | 4.36                               | 52.35                             |
| 55                | 39.20                | 35.93                              | 1.29                  | 15.48                        | 2.55                               | 30.56                             |
| 60                | 37.15                | 37.15                              | 1.22                  | 14.64                        | 1.92                               | 23.08                             |
| 65                | 35.36                | 38.31                              | 1.16                  | 13.90                        | 1.59                               | 19.06                             |
| 70                | 33.79                | 39.42                              | 1.10                  | 13.26                        | 1.37                               | 16.47                             |
| 75                | 32.38                | 40.47                              | 1.06                  | 12.69                        | 1.22                               | 14.64                             |
| 80                | 31.12                | 41.49                              | 1.01                  | 12.17                        | 1.10                               | 13.26                             |
| 85                | 29.97                | 42.46                              | 0.98                  | 11.71                        | 1.01                               | 12.17                             |
| 90                | 28.94                | 43.41                              | 0.94                  | 11.30                        | 0.94                               | 11.30                             |

Tabla 41. Hietograma para período de retorno de 25 años. Duración 90 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 210.84               | 17.57                              | 17.57                 | 210.84                       | 1.20                               | 14.37                             |
| 10                | 137.53               | 22.92                              | 5.35                  | 64.22                        | 1.30                               | 15.56                             |
| 15                | 107.12               | 26.78                              | 3.86                  | 46.29                        | 1.42                               | 17.05                             |
| 20                | 89.71                | 29.90                              | 3.12                  | 37.50                        | 1.58                               | 18.99                             |
| 25                | 78.18                | 32.58                              | 2.67                  | 32.07                        | 1.80                               | 21.64                             |
| 30                | 69.87                | 34.94                              | 2.36                  | 28.32                        | 2.13                               | 25.54                             |
| 35                | 63.54                | 37.07                              | 2.13                  | 25.54                        | 2.67                               | 32.07                             |
| 40                | 58.52                | 39.01                              | 1.95                  | 23.38                        | 3.86                               | 46.29                             |
| 45                | 54.42                | 40.82                              | 1.80                  | 21.64                        | 17.57                              | 210.84                            |
| 50                | 51.00                | 42.50                              | 1.68                  | 20.20                        | 5.35                               | 64.22                             |
| 55                | 48.09                | 44.08                              | 1.58                  | 18.99                        | 3.12                               | 37.50                             |
| 60                | 45.58                | 45.58                              | 1.50                  | 17.96                        | 2.36                               | 28.32                             |
| 65                | 43.38                | 47.00                              | 1.42                  | 17.05                        | 1.95                               | 23.38                             |
| 70                | 41.45                | 48.36                              | 1.36                  | 16.26                        | 1.68                               | 20.20                             |
| 75                | 39.72                | 49.65                              | 1.30                  | 15.56                        | 1.50                               | 17.96                             |
| 80                | 38.17                | 50.90                              | 1.24                  | 14.94                        | 1.36                               | 16.26                             |
| 85                | 36.77                | 52.09                              | 1.20                  | 14.37                        | 1.24                               | 14.94                             |
| 90                | 35.50                | 53.25                              | 1.15                  | 13.86                        | 1.15                               | 13.86                             |

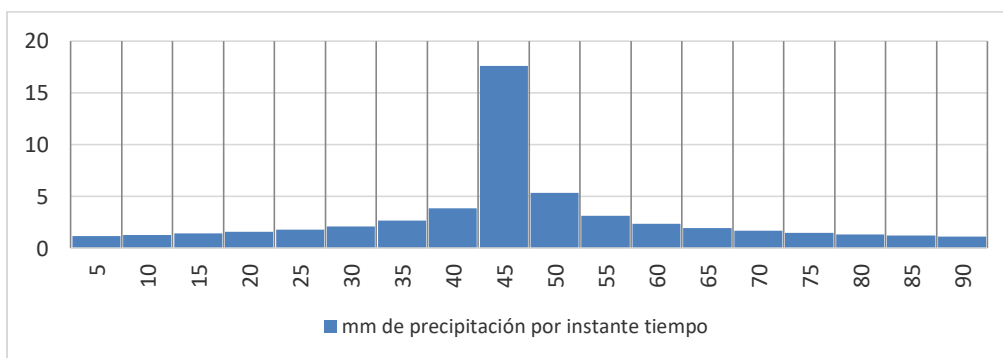


Figura 33. Hietograma de precipitación Tr 25 años. Duración 90 min

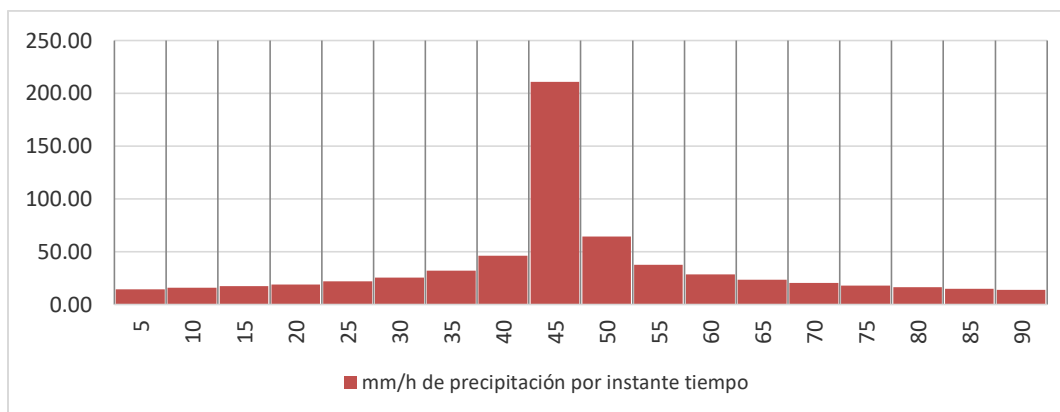


Figura 34. Distribución intensidad de precipitación Tr 25 años. Duración 90 min

Tabla 42. Hietograma para período de retorno de 50 años. Duración 90 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 246.10               | 20.51                              | 20.51                 | 246.10                       | 1.40                               | 16.77                             |
| 10                | 160.53               | 26.76                              | 6.25                  | 74.96                        | 1.51                               | 18.17                             |
| 15                | 125.03               | 31.26                              | 4.50                  | 54.03                        | 1.66                               | 19.91                             |
| 20                | 104.71               | 34.90                              | 3.65                  | 43.77                        | 1.85                               | 22.17                             |
| 25                | 91.26                | 38.02                              | 3.12                  | 37.43                        | 2.10                               | 25.26                             |
| 30                | 81.56                | 40.78                              | 2.75                  | 33.06                        | 2.48                               | 29.81                             |
| 35                | 74.17                | 43.26                              | 2.48                  | 29.81                        | 3.12                               | 37.43                             |
| 40                | 68.31                | 45.54                              | 2.27                  | 27.29                        | 4.50                               | 54.03                             |
| 45                | 63.52                | 47.64                              | 2.10                  | 25.26                        | 20.51                              | 246.10                            |
| 50                | 59.53                | 49.61                              | 1.97                  | 23.58                        | 6.25                               | 74.96                             |
| 55                | 56.13                | 51.45                              | 1.85                  | 22.17                        | 3.65                               | 43.77                             |
| 60                | 53.20                | 53.20                              | 1.75                  | 20.96                        | 2.75                               | 33.06                             |
| 65                | 50.64                | 54.86                              | 1.66                  | 19.91                        | 2.27                               | 27.29                             |
| 70                | 48.38                | 56.44                              | 1.58                  | 18.98                        | 1.97                               | 23.58                             |
| 75                | 46.36                | 57.95                              | 1.51                  | 18.17                        | 1.75                               | 20.96                             |
| 80                | 44.56                | 59.41                              | 1.45                  | 17.43                        | 1.58                               | 18.98                             |
| 85                | 42.92                | 60.81                              | 1.40                  | 16.77                        | 1.45                               | 17.43                             |
| 90                | 41.44                | 62.15                              | 1.35                  | 16.18                        | 1.35                               | 16.18                             |

Tabla 43. Hietograma para período de retorno de 100 años. Duración 90 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 287.25               | 23.94                              | 23.94                 | 287.25                       | 1.63                               | 19.58                             |
| 10                | 187.37               | 31.23                              | 7.29                  | 87.50                        | 1.77                               | 21.20                             |
| 15                | 145.94               | 36.48                              | 5.26                  | 63.07                        | 1.94                               | 23.24                             |
| 20                | 122.22               | 40.74                              | 4.26                  | 51.08                        | 2.16                               | 25.87                             |
| 25                | 106.52               | 44.38                              | 3.64                  | 43.69                        | 2.46                               | 29.48                             |
| 30                | 95.20                | 47.60                              | 3.22                  | 38.58                        | 2.90                               | 34.79                             |
| 35                | 86.57                | 50.50                              | 2.90                  | 34.79                        | 3.64                               | 43.69                             |
| 40                | 79.73                | 53.15                              | 2.65                  | 31.85                        | 5.26                               | 63.07                             |
| 45                | 74.14                | 55.61                              | 2.46                  | 29.48                        | 23.94                              | 287.25                            |
| 50                | 69.48                | 57.90                              | 2.29                  | 27.52                        | 7.29                               | 87.50                             |
| 55                | 65.52                | 60.06                              | 2.16                  | 25.87                        | 4.26                               | 51.08                             |
| 60                | 62.10                | 62.10                              | 2.04                  | 24.46                        | 3.22                               | 38.58                             |
| 65                | 59.11                | 64.03                              | 1.94                  | 23.24                        | 2.65                               | 31.85                             |
| 70                | 56.47                | 65.88                              | 1.85                  | 22.16                        | 2.29                               | 27.52                             |
| 75                | 54.12                | 67.65                              | 1.77                  | 21.20                        | 2.04                               | 24.46                             |
| 80                | 52.01                | 69.34                              | 1.70                  | 20.35                        | 1.85                               | 22.16                             |
| 85                | 50.10                | 70.97                              | 1.63                  | 19.58                        | 1.70                               | 20.35                             |
| 90                | 48.36                | 72.55                              | 1.57                  | 18.88                        | 1.57                               | 18.88                             |

Para duraciones de tormenta de 180 minutos se tienen los hietogramas para periodos de retorno desde 1 a 100 años, detallados en las Tablas 44 a 50 y Figuras 35 y 36.

Tabla 44. Hietograma para período de retorno de 1 año. Duración 180 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 102.83               | 8.57                               | 8.57                  | 102.83                       | 0.37                               | 4.45                              |
| 10                | 67.07                | 11.18                              | 2.61                  | 31.32                        | 0.38                               | 4.61                              |
| 15                | 52.24                | 13.06                              | 1.88                  | 22.58                        | 0.40                               | 4.80                              |
| 20                | 43.75                | 14.58                              | 1.52                  | 18.29                        | 0.42                               | 5.00                              |
| 25                | 38.13                | 15.89                              | 1.30                  | 15.64                        | 0.44                               | 5.23                              |
| 30                | 34.08                | 17.04                              | 1.15                  | 13.81                        | 0.46                               | 5.49                              |
| 35                | 30.99                | 18.08                              | 1.04                  | 12.46                        | 0.48                               | 5.79                              |
| 40                | 28.54                | 19.03                              | 0.95                  | 11.40                        | 0.51                               | 6.13                              |
| 45                | 26.54                | 19.91                              | 0.88                  | 10.55                        | 0.54                               | 6.53                              |
| 50                | 24.87                | 20.73                              | 0.82                  | 9.85                         | 0.58                               | 7.01                              |
| 55                | 23.45                | 21.50                              | 0.77                  | 9.26                         | 0.63                               | 7.59                              |
| 60                | 22.23                | 22.23                              | 0.73                  | 8.76                         | 0.69                               | 8.32                              |
| 65                | 21.16                | 22.92                              | 0.69                  | 8.32                         | 0.77                               | 9.26                              |
| 70                | 20.21                | 23.58                              | 0.66                  | 7.93                         | 0.88                               | 10.55                             |
| 75                | 19.37                | 24.22                              | 0.63                  | 7.59                         | 1.04                               | 12.46                             |
| 80                | 18.62                | 24.82                              | 0.61                  | 7.28                         | 1.30                               | 15.64                             |
| 85                | 17.93                | 25.41                              | 0.58                  | 7.01                         | 1.88                               | 22.58                             |
| 90                | 17.31                | 25.97                              | 0.56                  | 6.76                         | 8.57                               | 102.83                            |
| 95                | 16.75                | 26.51                              | 0.54                  | 6.53                         | 2.61                               | 31.32                             |
| 100               | 16.22                | 27.04                              | 0.53                  | 6.32                         | 1.52                               | 18.29                             |
| 105               | 15.74                | 27.55                              | 0.51                  | 6.13                         | 1.15                               | 13.81                             |
| 110               | 15.30                | 28.05                              | 0.50                  | 5.95                         | 0.95                               | 11.40                             |
| 115               | 14.89                | 28.53                              | 0.48                  | 5.79                         | 0.82                               | 9.85                              |
| 120               | 14.50                | 29.00                              | 0.47                  | 5.64                         | 0.73                               | 8.76                              |
| 125               | 14.14                | 29.46                              | 0.46                  | 5.49                         | 0.66                               | 7.93                              |
| 130               | 13.80                | 29.90                              | 0.45                  | 5.36                         | 0.61                               | 7.28                              |
| 135               | 13.48                | 30.34                              | 0.44                  | 5.23                         | 0.56                               | 6.76                              |
| 140               | 13.19                | 30.77                              | 0.43                  | 5.11                         | 0.53                               | 6.32                              |
| 145               | 12.90                | 31.18                              | 0.42                  | 5.00                         | 0.50                               | 5.95                              |
| 150               | 12.64                | 31.59                              | 0.41                  | 4.90                         | 0.47                               | 5.64                              |
| 155               | 12.38                | 31.99                              | 0.40                  | 4.80                         | 0.45                               | 5.36                              |
| 160               | 12.14                | 32.38                              | 0.39                  | 4.70                         | 0.43                               | 5.11                              |
| 165               | 11.92                | 32.77                              | 0.38                  | 4.61                         | 0.41                               | 4.90                              |
| 170               | 11.70                | 33.15                              | 0.38                  | 4.53                         | 0.39                               | 4.70                              |
| 175               | 11.49                | 33.52                              | 0.37                  | 4.45                         | 0.38                               | 4.53                              |
| 180               | 11.29                | 33.88                              | 0.36                  | 4.37                         | 0.36                               | 4.37                              |

Tabla 45. Hietograma para período de retorno de 2 años. Duración 180 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 120.02               | 10.00                              | 10.00                 | 120.02                       | 0.43                               | 5.19                              |
| 10                | 78.29                | 13.05                              | 3.05                  | 36.56                        | 0.45                               | 5.39                              |
| 15                | 60.98                | 15.24                              | 2.20                  | 26.35                        | 0.47                               | 5.60                              |
| 20                | 51.07                | 17.02                              | 1.78                  | 21.34                        | 0.49                               | 5.84                              |
| 25                | 44.51                | 18.54                              | 1.52                  | 18.26                        | 0.51                               | 6.11                              |
| 30                | 39.78                | 19.89                              | 1.34                  | 16.12                        | 0.53                               | 6.41                              |
| 35                | 36.17                | 21.10                              | 1.21                  | 14.54                        | 0.56                               | 6.76                              |
| 40                | 33.31                | 22.21                              | 1.11                  | 13.31                        | 0.60                               | 7.16                              |
| 45                | 30.98                | 23.23                              | 1.03                  | 12.32                        | 0.64                               | 7.62                              |
| 50                | 29.03                | 24.19                              | 0.96                  | 11.50                        | 0.68                               | 8.18                              |
| 55                | 27.38                | 25.09                              | 0.90                  | 10.81                        | 0.74                               | 8.86                              |
| 60                | 25.95                | 25.95                              | 0.85                  | 10.22                        | 0.81                               | 9.71                              |
| 65                | 24.70                | 26.76                              | 0.81                  | 9.71                         | 0.90                               | 10.81                             |
| 70                | 23.59                | 27.53                              | 0.77                  | 9.26                         | 1.03                               | 12.32                             |
| 75                | 22.61                | 28.26                              | 0.74                  | 8.86                         | 1.21                               | 14.54                             |
| 80                | 21.73                | 28.97                              | 0.71                  | 8.50                         | 1.52                               | 18.26                             |
| 85                | 20.93                | 29.66                              | 0.68                  | 8.18                         | 2.20                               | 26.35                             |
| 90                | 20.21                | 30.31                              | 0.66                  | 7.89                         | 10.00                              | 120.02                            |
| 95                | 19.55                | 30.95                              | 0.64                  | 7.62                         | 3.05                               | 36.56                             |
| 100               | 18.94                | 31.56                              | 0.61                  | 7.38                         | 1.78                               | 21.34                             |
| 105               | 18.38                | 32.16                              | 0.60                  | 7.16                         | 1.34                               | 16.12                             |
| 110               | 17.86                | 32.74                              | 0.58                  | 6.95                         | 1.11                               | 13.31                             |
| 115               | 17.37                | 33.30                              | 0.56                  | 6.76                         | 0.96                               | 11.50                             |
| 120               | 16.92                | 33.85                              | 0.55                  | 6.58                         | 0.85                               | 10.22                             |
| 125               | 16.50                | 34.38                              | 0.53                  | 6.41                         | 0.77                               | 9.26                              |
| 130               | 16.11                | 34.90                              | 0.52                  | 6.25                         | 0.71                               | 8.50                              |
| 135               | 15.74                | 35.41                              | 0.51                  | 6.11                         | 0.66                               | 7.89                              |
| 140               | 15.39                | 35.91                              | 0.50                  | 5.97                         | 0.61                               | 7.38                              |
| 145               | 15.06                | 36.40                              | 0.49                  | 5.84                         | 0.58                               | 6.95                              |
| 150               | 14.75                | 36.87                              | 0.48                  | 5.72                         | 0.55                               | 6.58                              |
| 155               | 14.45                | 37.34                              | 0.47                  | 5.60                         | 0.52                               | 6.25                              |
| 160               | 14.17                | 37.80                              | 0.46                  | 5.49                         | 0.50                               | 5.97                              |
| 165               | 13.91                | 38.25                              | 0.45                  | 5.39                         | 0.48                               | 5.72                              |
| 170               | 13.65                | 38.69                              | 0.44                  | 5.29                         | 0.46                               | 5.49                              |
| 175               | 13.41                | 39.12                              | 0.43                  | 5.19                         | 0.44                               | 5.29                              |
| 180               | 13.18                | 39.55                              | 0.43                  | 5.10                         | 0.43                               | 5.10                              |

Tabla 46. Hietograma para período de retorno de 5 años. Duración 180 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 147.24               | 12.27                              | 12.27                 | 147.24                       | 0.53                               | 6.37                              |
| 10                | 96.05                | 16.01                              | 3.74                  | 44.85                        | 0.55                               | 6.61                              |
| 15                | 74.81                | 18.70                              | 2.69                  | 32.33                        | 0.57                               | 6.87                              |
| 20                | 62.65                | 20.88                              | 2.18                  | 26.19                        | 0.60                               | 7.16                              |
| 25                | 54.60                | 22.75                              | 1.87                  | 22.40                        | 0.62                               | 7.49                              |
| 30                | 48.80                | 24.40                              | 1.65                  | 19.78                        | 0.66                               | 7.86                              |
| 35                | 44.37                | 25.88                              | 1.49                  | 17.84                        | 0.69                               | 8.29                              |
| 40                | 40.87                | 27.25                              | 1.36                  | 16.33                        | 0.73                               | 8.78                              |
| 45                | 38.01                | 28.50                              | 1.26                  | 15.11                        | 0.78                               | 9.35                              |
| 50                | 35.62                | 29.68                              | 1.18                  | 14.11                        | 0.84                               | 10.04                             |
| 55                | 33.58                | 30.79                              | 1.11                  | 13.26                        | 0.91                               | 10.87                             |
| 60                | 31.83                | 31.83                              | 1.04                  | 12.54                        | 0.99                               | 11.91                             |
| 65                | 30.30                | 32.82                              | 0.99                  | 11.91                        | 1.11                               | 13.26                             |
| 70                | 28.95                | 33.77                              | 0.95                  | 11.36                        | 1.26                               | 15.11                             |
| 75                | 27.74                | 34.68                              | 0.91                  | 10.87                        | 1.49                               | 17.84                             |
| 80                | 26.66                | 35.54                              | 0.87                  | 10.43                        | 1.87                               | 22.40                             |
| 85                | 25.68                | 36.38                              | 0.84                  | 10.04                        | 2.69                               | 32.33                             |
| 90                | 24.79                | 37.19                              | 0.81                  | 9.68                         | 12.27                              | 147.24                            |
| 95                | 23.98                | 37.97                              | 0.78                  | 9.35                         | 3.74                               | 44.85                             |
| 100               | 23.23                | 38.72                              | 0.75                  | 9.05                         | 2.18                               | 26.19                             |
| 105               | 22.54                | 39.45                              | 0.73                  | 8.78                         | 1.65                               | 19.78                             |
| 110               | 21.91                | 40.16                              | 0.71                  | 8.52                         | 1.36                               | 16.33                             |
| 115               | 21.31                | 40.85                              | 0.69                  | 8.29                         | 1.18                               | 14.11                             |
| 120               | 20.76                | 41.53                              | 0.67                  | 8.07                         | 1.04                               | 12.54                             |
| 125               | 20.25                | 42.18                              | 0.66                  | 7.86                         | 0.95                               | 11.36                             |
| 130               | 19.76                | 42.82                              | 0.64                  | 7.67                         | 0.87                               | 10.43                             |
| 135               | 19.31                | 43.45                              | 0.62                  | 7.49                         | 0.81                               | 9.68                              |
| 140               | 18.88                | 44.06                              | 0.61                  | 7.32                         | 0.75                               | 9.05                              |
| 145               | 18.48                | 44.65                              | 0.60                  | 7.16                         | 0.71                               | 8.52                              |
| 150               | 18.09                | 45.24                              | 0.58                  | 7.01                         | 0.67                               | 8.07                              |
| 155               | 17.73                | 45.81                              | 0.57                  | 6.87                         | 0.64                               | 7.67                              |
| 160               | 17.39                | 46.37                              | 0.56                  | 6.74                         | 0.61                               | 7.32                              |
| 165               | 17.06                | 46.92                              | 0.55                  | 6.61                         | 0.58                               | 7.01                              |
| 170               | 16.75                | 47.46                              | 0.54                  | 6.49                         | 0.56                               | 6.74                              |
| 175               | 16.45                | 47.99                              | 0.53                  | 6.37                         | 0.54                               | 6.49                              |
| 180               | 16.17                | 48.51                              | 0.52                  | 6.26                         | 0.52                               | 6.26                              |

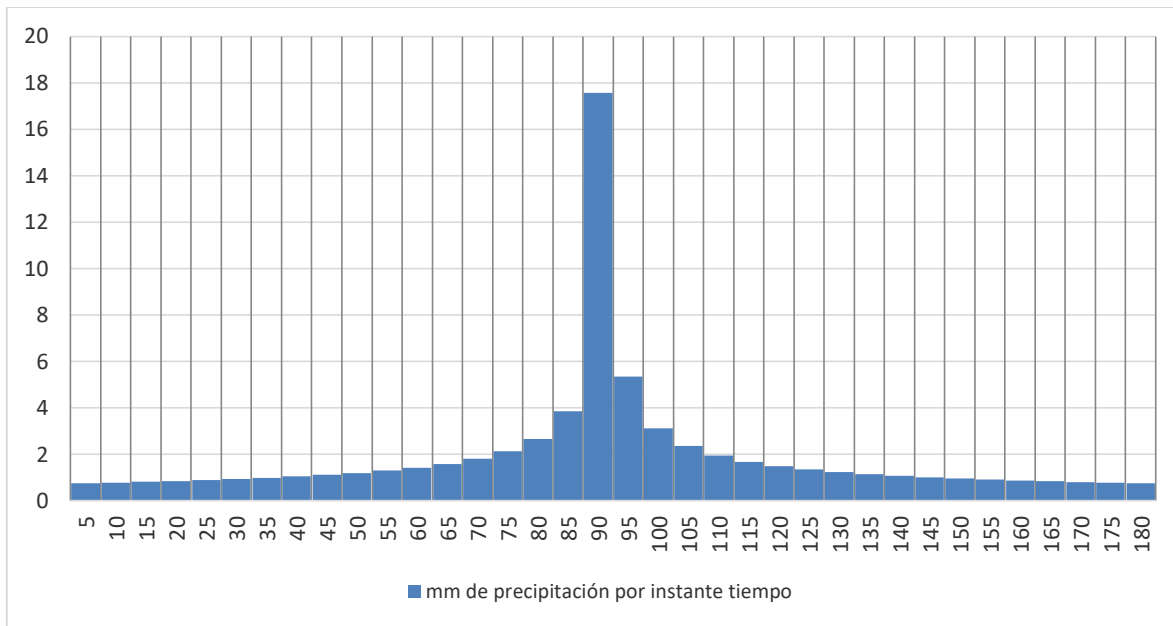


Tabla 47. Hietograma para período de retorno de 10 años. Duración 180 min

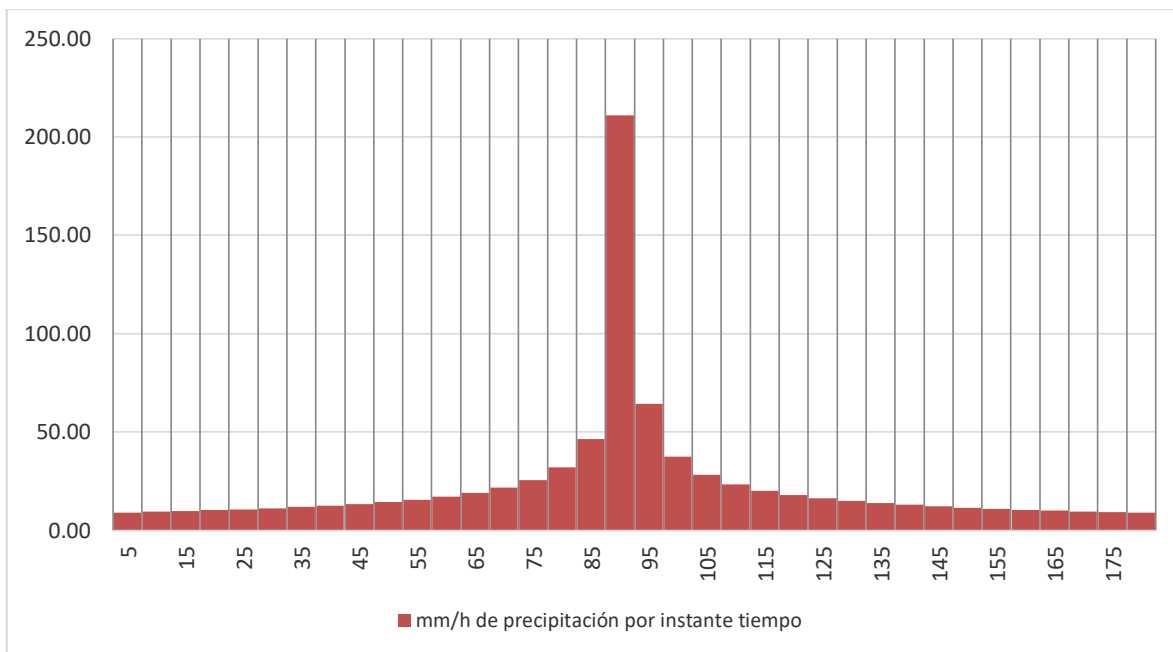
| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 171.86               | 14.32                              | 14.32                 | 171.86                       | 0.62                               | 7.43                              |
| 10                | 112.11               | 18.68                              | 4.36                  | 52.35                        | 0.64                               | 7.71                              |
| 15                | 87.32                | 21.83                              | 3.14                  | 37.73                        | 0.67                               | 8.02                              |
| 20                | 73.13                | 24.38                              | 2.55                  | 30.56                        | 0.70                               | 8.36                              |
| 25                | 63.73                | 26.55                              | 2.18                  | 26.14                        | 0.73                               | 8.75                              |
| 30                | 56.96                | 28.48                              | 1.92                  | 23.08                        | 0.77                               | 9.18                              |
| 35                | 51.79                | 30.21                              | 1.73                  | 20.82                        | 0.81                               | 9.67                              |
| 40                | 47.70                | 31.80                              | 1.59                  | 19.06                        | 0.85                               | 10.25                             |
| 45                | 44.36                | 33.27                              | 1.47                  | 17.64                        | 0.91                               | 10.92                             |
| 50                | 41.57                | 34.64                              | 1.37                  | 16.47                        | 0.98                               | 11.71                             |
| 55                | 39.20                | 35.93                              | 1.29                  | 15.48                        | 1.06                               | 12.69                             |
| 60                | 37.15                | 37.15                              | 1.22                  | 14.64                        | 1.16                               | 13.90                             |
| 65                | 35.36                | 38.31                              | 1.16                  | 13.90                        | 1.29                               | 15.48                             |
| 70                | 33.79                | 39.42                              | 1.10                  | 13.26                        | 1.47                               | 17.64                             |
| 75                | 32.38                | 40.47                              | 1.06                  | 12.69                        | 1.73                               | 20.82                             |
| 80                | 31.12                | 41.49                              | 1.01                  | 12.17                        | 2.18                               | 26.14                             |
| 85                | 29.97                | 42.46                              | 0.98                  | 11.71                        | 3.14                               | 37.73                             |
| 90                | 28.94                | 43.41                              | 0.94                  | 11.30                        | 14.32                              | 171.86                            |
| 95                | 27.99                | 44.32                              | 0.91                  | 10.92                        | 4.36                               | 52.35                             |
| 100               | 27.12                | 45.20                              | 0.88                  | 10.57                        | 2.55                               | 30.56                             |
| 105               | 26.31                | 46.05                              | 0.85                  | 10.25                        | 1.92                               | 23.08                             |
| 110               | 25.57                | 46.88                              | 0.83                  | 9.95                         | 1.59                               | 19.06                             |
| 115               | 24.88                | 47.68                              | 0.81                  | 9.67                         | 1.37                               | 16.47                             |
| 120               | 24.23                | 48.47                              | 0.78                  | 9.42                         | 1.22                               | 14.64                             |
| 125               | 23.63                | 49.23                              | 0.77                  | 9.18                         | 1.10                               | 13.26                             |
| 130               | 23.07                | 49.98                              | 0.75                  | 8.96                         | 1.01                               | 12.17                             |
| 135               | 22.54                | 50.71                              | 0.73                  | 8.75                         | 0.94                               | 11.30                             |
| 140               | 22.04                | 51.42                              | 0.71                  | 8.55                         | 0.88                               | 10.57                             |
| 145               | 21.57                | 52.12                              | 0.70                  | 8.36                         | 0.83                               | 9.95                              |
| 150               | 21.12                | 52.80                              | 0.68                  | 8.19                         | 0.78                               | 9.42                              |
| 155               | 20.70                | 53.47                              | 0.67                  | 8.02                         | 0.75                               | 8.96                              |
| 160               | 20.30                | 54.13                              | 0.66                  | 7.86                         | 0.71                               | 8.55                              |
| 165               | 19.92                | 54.77                              | 0.64                  | 7.71                         | 0.68                               | 8.19                              |
| 170               | 19.55                | 55.40                              | 0.63                  | 7.57                         | 0.66                               | 7.86                              |
| 175               | 19.21                | 56.02                              | 0.62                  | 7.43                         | 0.63                               | 7.57                              |
| 180               | 18.88                | 56.63                              | 0.61                  | 7.30                         | 0.61                               | 7.30                              |

Tabla 48. Hietograma para período de retorno de 25 años. Duración 180 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 210.84               | 17.57                              | 17.57                 | 210.84                       | 0.76                               | 9.12                              |
| 10                | 137.53               | 22.92                              | 5.35                  | 64.22                        | 0.79                               | 9.46                              |
| 15                | 107.12               | 26.78                              | 3.86                  | 46.29                        | 0.82                               | 9.84                              |
| 20                | 89.71                | 29.90                              | 3.12                  | 37.50                        | 0.85                               | 10.26                             |
| 25                | 78.18                | 32.58                              | 2.67                  | 32.07                        | 0.89                               | 10.73                             |
| 30                | 69.87                | 34.94                              | 2.36                  | 28.32                        | 0.94                               | 11.26                             |
| 35                | 63.54                | 37.07                              | 2.13                  | 25.54                        | 0.99                               | 11.87                             |
| 40                | 58.52                | 39.01                              | 1.95                  | 23.38                        | 1.05                               | 12.57                             |
| 45                | 54.42                | 40.82                              | 1.80                  | 21.64                        | 1.12                               | 13.39                             |
| 50                | 51.00                | 42.50                              | 1.68                  | 20.20                        | 1.20                               | 14.37                             |
| 55                | 48.09                | 44.08                              | 1.58                  | 18.99                        | 1.30                               | 15.56                             |
| 60                | 45.58                | 45.58                              | 1.50                  | 17.96                        | 1.42                               | 17.05                             |
| 65                | 43.38                | 47.00                              | 1.42                  | 17.05                        | 1.58                               | 18.99                             |
| 70                | 41.45                | 48.36                              | 1.36                  | 16.26                        | 1.80                               | 21.64                             |
| 75                | 39.72                | 49.65                              | 1.30                  | 15.56                        | 2.13                               | 25.54                             |
| 80                | 38.17                | 50.90                              | 1.24                  | 14.94                        | 2.67                               | 32.07                             |
| 85                | 36.77                | 52.09                              | 1.20                  | 14.37                        | 3.86                               | 46.29                             |
| 90                | 35.50                | 53.25                              | 1.15                  | 13.86                        | 17.57                              | 210.84                            |
| 95                | 34.34                | 54.37                              | 1.12                  | 13.39                        | 5.35                               | 64.22                             |
| 100               | 33.27                | 55.45                              | 1.08                  | 12.96                        | 3.12                               | 37.50                             |
| 105               | 32.28                | 56.49                              | 1.05                  | 12.57                        | 2.36                               | 28.32                             |
| 110               | 31.37                | 57.51                              | 1.02                  | 12.21                        | 1.95                               | 23.38                             |
| 115               | 30.52                | 58.50                              | 0.99                  | 11.87                        | 1.68                               | 20.20                             |
| 120               | 29.73                | 59.46                              | 0.96                  | 11.56                        | 1.50                               | 17.96                             |
| 125               | 28.99                | 60.40                              | 0.94                  | 11.26                        | 1.36                               | 16.26                             |
| 130               | 28.30                | 61.32                              | 0.92                  | 10.99                        | 1.24                               | 14.94                             |
| 135               | 27.65                | 62.21                              | 0.89                  | 10.73                        | 1.15                               | 13.86                             |
| 140               | 27.04                | 63.08                              | 0.87                  | 10.49                        | 1.08                               | 12.96                             |
| 145               | 26.46                | 63.94                              | 0.85                  | 10.26                        | 1.02                               | 12.21                             |
| 150               | 25.91                | 64.78                              | 0.84                  | 10.04                        | 0.96                               | 11.56                             |
| 155               | 25.39                | 65.60                              | 0.82                  | 9.84                         | 0.92                               | 10.99                             |
| 160               | 24.90                | 66.40                              | 0.80                  | 9.65                         | 0.87                               | 10.49                             |
| 165               | 24.43                | 67.19                              | 0.79                  | 9.46                         | 0.84                               | 10.04                             |
| 170               | 23.99                | 67.96                              | 0.77                  | 9.29                         | 0.80                               | 9.65                              |
| 175               | 23.56                | 68.72                              | 0.76                  | 9.12                         | 0.77                               | 9.29                              |
| 180               | 23.16                | 69.47                              | 0.75                  | 8.96                         | 0.75                               | 8.96                              |



*Figura 35.* Hietograma de precipitación Tr 25 años. Duración 180 min



*Figura 36.* Distribución intensidad de precipitación Tr 25 años. Duración 180 min

Tabla 49. Hietograma para período de retorno de 50 años. Duración 180 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 246.10               | 20.51                              | 20.51                 | 246.10                       | 0.89                               | 10.64                             |
| 10                | 160.53               | 26.76                              | 6.25                  | 74.96                        | 0.92                               | 11.04                             |
| 15                | 125.03               | 31.26                              | 4.50                  | 54.03                        | 0.96                               | 11.48                             |
| 20                | 104.71               | 34.90                              | 3.65                  | 43.77                        | 1.00                               | 11.98                             |
| 25                | 91.26                | 38.02                              | 3.12                  | 37.43                        | 1.04                               | 12.52                             |
| 30                | 81.56                | 40.78                              | 2.75                  | 33.06                        | 1.10                               | 13.15                             |
| 35                | 74.17                | 43.26                              | 2.48                  | 29.81                        | 1.15                               | 13.85                             |
| 40                | 68.31                | 45.54                              | 2.27                  | 27.29                        | 1.22                               | 14.67                             |
| 45                | 63.52                | 47.64                              | 2.10                  | 25.26                        | 1.30                               | 15.63                             |
| 50                | 59.53                | 49.61                              | 1.97                  | 23.58                        | 1.40                               | 16.77                             |
| 55                | 56.13                | 51.45                              | 1.85                  | 22.17                        | 1.51                               | 18.17                             |
| 60                | 53.20                | 53.20                              | 1.75                  | 20.96                        | 1.66                               | 19.91                             |
| 65                | 50.64                | 54.86                              | 1.66                  | 19.91                        | 1.85                               | 22.17                             |
| 70                | 48.38                | 56.44                              | 1.58                  | 18.98                        | 2.10                               | 25.26                             |
| 75                | 46.36                | 57.95                              | 1.51                  | 18.17                        | 2.48                               | 29.81                             |
| 80                | 44.56                | 59.41                              | 1.45                  | 17.43                        | 3.12                               | 37.43                             |
| 85                | 42.92                | 60.81                              | 1.40                  | 16.77                        | 4.50                               | 54.03                             |
| 90                | 41.44                | 62.15                              | 1.35                  | 16.18                        | 20.51                              | 246.10                            |
| 95                | 40.08                | 63.46                              | 1.30                  | 15.63                        | 6.25                               | 74.96                             |
| 100               | 38.83                | 64.72                              | 1.26                  | 15.13                        | 3.65                               | 43.77                             |
| 105               | 37.68                | 65.94                              | 1.22                  | 14.67                        | 2.75                               | 33.06                             |
| 110               | 36.61                | 67.13                              | 1.19                  | 14.25                        | 2.27                               | 27.29                             |
| 115               | 35.63                | 68.28                              | 1.15                  | 13.85                        | 1.97                               | 23.58                             |
| 120               | 34.70                | 69.41                              | 1.12                  | 13.49                        | 1.75                               | 20.96                             |
| 125               | 33.84                | 70.50                              | 1.10                  | 13.15                        | 1.58                               | 18.98                             |
| 130               | 33.03                | 71.57                              | 1.07                  | 12.83                        | 1.45                               | 17.43                             |
| 135               | 32.27                | 72.61                              | 1.04                  | 12.52                        | 1.35                               | 16.18                             |
| 140               | 31.56                | 73.63                              | 1.02                  | 12.24                        | 1.26                               | 15.13                             |
| 145               | 30.88                | 74.63                              | 1.00                  | 11.98                        | 1.19                               | 14.25                             |
| 150               | 30.24                | 75.61                              | 0.98                  | 11.72                        | 1.12                               | 13.49                             |
| 155               | 29.64                | 76.57                              | 0.96                  | 11.48                        | 1.07                               | 12.83                             |
| 160               | 29.06                | 77.50                              | 0.94                  | 11.26                        | 1.02                               | 12.24                             |
| 165               | 28.52                | 78.42                              | 0.92                  | 11.04                        | 0.98                               | 11.72                             |
| 170               | 28.00                | 79.33                              | 0.90                  | 10.84                        | 0.94                               | 11.26                             |
| 175               | 27.50                | 80.21                              | 0.89                  | 10.64                        | 0.90                               | 10.84                             |
| 180               | 27.03                | 81.09                              | 0.87                  | 10.46                        | 0.87                               | 10.46                             |

Tabla 50. Hietograma para período de retorno de 100 años. Duración 180 min

| Duración<br>(min) | Intensidad<br>(mm/h) | Precipitación<br>acumulada<br>(mm) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>parcial (mm/h) | Precipitación<br>Alternada<br>(mm) | Int. Parcial<br>Alternada<br>(mm) |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 5                 | 287.25               | 23.94                              | 23.94                 | 287.25                       | 1.04                               | 12.42                             |
| 10                | 187.37               | 31.23                              | 7.29                  | 87.50                        | 1.07                               | 12.89                             |
| 15                | 145.94               | 36.48                              | 5.26                  | 63.07                        | 1.12                               | 13.41                             |
| 20                | 122.22               | 40.74                              | 4.26                  | 51.08                        | 1.16                               | 13.98                             |
| 25                | 106.52               | 44.38                              | 3.64                  | 43.69                        | 1.22                               | 14.62                             |
| 30                | 95.20                | 47.60                              | 3.22                  | 38.58                        | 1.28                               | 15.34                             |
| 35                | 86.57                | 50.50                              | 2.90                  | 34.79                        | 1.35                               | 16.17                             |
| 40                | 79.73                | 53.15                              | 2.65                  | 31.85                        | 1.43                               | 17.13                             |
| 45                | 74.14                | 55.61                              | 2.46                  | 29.48                        | 1.52                               | 18.24                             |
| 50                | 69.48                | 57.90                              | 2.29                  | 27.52                        | 1.63                               | 19.58                             |
| 55                | 65.52                | 60.06                              | 2.16                  | 25.87                        | 1.77                               | 21.20                             |
| 60                | 62.10                | 62.10                              | 2.04                  | 24.46                        | 1.94                               | 23.24                             |
| 65                | 59.11                | 64.03                              | 1.94                  | 23.24                        | 2.16                               | 25.87                             |
| 70                | 56.47                | 65.88                              | 1.85                  | 22.16                        | 2.46                               | 29.48                             |
| 75                | 54.12                | 67.65                              | 1.77                  | 21.20                        | 2.90                               | 34.79                             |
| 80                | 52.01                | 69.34                              | 1.70                  | 20.35                        | 3.64                               | 43.69                             |
| 85                | 50.10                | 70.97                              | 1.63                  | 19.58                        | 5.26                               | 63.07                             |
| 90                | 48.36                | 72.55                              | 1.57                  | 18.88                        | 23.94                              | 287.25                            |
| 95                | 46.78                | 74.07                              | 1.52                  | 18.24                        | 7.29                               | 87.50                             |
| 100               | 45.32                | 75.54                              | 1.47                  | 17.66                        | 4.26                               | 51.08                             |
| 105               | 43.98                | 76.97                              | 1.43                  | 17.13                        | 3.22                               | 38.58                             |
| 110               | 42.74                | 78.35                              | 1.39                  | 16.63                        | 2.65                               | 31.85                             |
| 115               | 41.58                | 79.70                              | 1.35                  | 16.17                        | 2.29                               | 27.52                             |
| 120               | 40.51                | 81.01                              | 1.31                  | 15.74                        | 2.04                               | 24.46                             |
| 125               | 39.50                | 82.29                              | 1.28                  | 15.34                        | 1.85                               | 22.16                             |
| 130               | 38.56                | 83.54                              | 1.25                  | 14.97                        | 1.70                               | 20.35                             |
| 135               | 37.67                | 84.76                              | 1.22                  | 14.62                        | 1.57                               | 18.88                             |
| 140               | 36.83                | 85.95                              | 1.19                  | 14.29                        | 1.47                               | 17.66                             |
| 145               | 36.05                | 87.11                              | 1.16                  | 13.98                        | 1.39                               | 16.63                             |
| 150               | 35.30                | 88.25                              | 1.14                  | 13.68                        | 1.31                               | 15.74                             |
| 155               | 34.59                | 89.37                              | 1.12                  | 13.41                        | 1.25                               | 14.97                             |
| 160               | 33.92                | 90.46                              | 1.10                  | 13.14                        | 1.19                               | 14.29                             |
| 165               | 33.29                | 91.54                              | 1.07                  | 12.89                        | 1.14                               | 13.68                             |
| 170               | 32.68                | 92.59                              | 1.05                  | 12.65                        | 1.10                               | 13.14                             |
| 175               | 32.10                | 93.63                              | 1.04                  | 12.42                        | 1.05                               | 12.65                             |
| 180               | 31.55                | 94.64                              | 1.02                  | 12.21                        | 1.02                               | 12.21                             |

Las Tablas 51, 52 y 53 resumen los hietogramas con duraciones de 45, 90 y 180 minutos respectivamente, que se introducirán en cada uno de los modelos lluvia–escorrentía desarrollados en EPA-SWMM.

Tabla 51. Hietogramas con diferentes periodos de retorno. Duración 45 min

| Duración<br>(min) | Precipitación (mm) |           |           |            |            |            |             |
|-------------------|--------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
|                   | Tr 1 año           | Tr 2 años | Tr 5 años | Tr 10 años | Tr 25 años | Tr 50 años | Tr 100 años |
| 5                 | 0.88               | 1.03      | 1.26      | 1.47       | 1.80       | 2.10       | 2.46        |
| 10                | 1.04               | 1.21      | 1.49      | 1.73       | 2.13       | 2.48       | 2.90        |
| 15                | 1.30               | 1.52      | 1.87      | 2.18       | 2.67       | 3.12       | 3.64        |
| 20                | 1.88               | 2.20      | 2.69      | 3.14       | 3.86       | 4.50       | 5.26        |
| 25                | 8.57               | 10.00     | 12.27     | 14.32      | 17.57      | 20.51      | 23.94       |
| 30                | 2.61               | 3.05      | 3.74      | 4.36       | 5.35       | 6.25       | 7.29        |
| 35                | 1.52               | 1.78      | 2.18      | 2.55       | 3.12       | 3.65       | 4.26        |
| 40                | 1.15               | 1.34      | 1.65      | 1.92       | 2.36       | 2.75       | 3.22        |
| 45                | 0.95               | 1.11      | 1.36      | 1.59       | 1.95       | 2.27       | 2.65        |

Tabla 52. Hietogramas con diferentes periodos de retorno. Duración 90 min

| Duración<br>(horas) | Precipitación (mm) |           |           |            |            |            |             |
|---------------------|--------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
|                     | Tr 1 año           | Tr 2 años | Tr 5 años | Tr 10 años | Tr 25 años | Tr 50 años | Tr 100 años |
| 5                   | 0.58               | 0.68      | 0.84      | 0.98       | 1.20       | 1.40       | 1.63        |
| 10                  | 0.63               | 0.74      | 0.91      | 1.06       | 1.30       | 1.51       | 1.77        |
| 15                  | 0.69               | 0.81      | 0.99      | 1.16       | 1.42       | 1.66       | 1.94        |
| 20                  | 0.77               | 0.90      | 1.11      | 1.29       | 1.58       | 1.85       | 2.16        |
| 25                  | 0.88               | 1.03      | 1.26      | 1.47       | 1.80       | 2.10       | 2.46        |
| 30                  | 1.04               | 1.21      | 1.49      | 1.73       | 2.13       | 2.48       | 2.90        |
| 35                  | 1.30               | 1.52      | 1.87      | 2.18       | 2.67       | 3.12       | 3.64        |
| 40                  | 1.88               | 2.20      | 2.69      | 3.14       | 3.86       | 4.50       | 5.26        |
| 45                  | 8.57               | 10.00     | 12.27     | 14.32      | 17.57      | 20.51      | 23.94       |
| 50                  | 2.61               | 3.05      | 3.74      | 4.36       | 5.35       | 6.25       | 7.29        |
| 55                  | 1.52               | 1.78      | 2.18      | 2.55       | 3.12       | 3.65       | 4.26        |
| 60                  | 1.15               | 1.34      | 1.65      | 1.92       | 2.36       | 2.75       | 3.22        |
| 65                  | 0.95               | 1.11      | 1.36      | 1.59       | 1.95       | 2.27       | 2.65        |
| 70                  | 0.82               | 0.96      | 1.18      | 1.37       | 1.68       | 1.97       | 2.29        |
| 75                  | 0.73               | 0.85      | 1.04      | 1.22       | 1.50       | 1.75       | 2.04        |
| 80                  | 0.66               | 0.77      | 0.95      | 1.10       | 1.36       | 1.58       | 1.85        |
| 85                  | 0.61               | 0.71      | 0.87      | 1.01       | 1.24       | 1.45       | 1.70        |
| 90                  | 0.56               | 0.66      | 0.81      | 0.94       | 1.15       | 1.35       | 1.57        |

Tabla 53. Hietogramas con diferentes periodos de retorno. Duración 180 min

| Duración<br>(horas) | Precipitación (mm) |           |           |            |            |            |             |
|---------------------|--------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
|                     | Tr 1 año           | Tr 2 años | Tr 5 años | Tr 10 años | Tr 25 años | Tr 50 años | Tr 100 años |
| 5                   | 0.37               | 0.43      | 0.53      | 0.62       | 0.76       | 0.89       | 1.04        |
| 10                  | 0.38               | 0.45      | 0.55      | 0.64       | 0.79       | 0.92       | 1.07        |
| 15                  | 0.40               | 0.47      | 0.57      | 0.67       | 0.82       | 0.96       | 1.12        |
| 20                  | 0.42               | 0.49      | 0.60      | 0.70       | 0.85       | 1.00       | 1.16        |
| 25                  | 0.44               | 0.51      | 0.62      | 0.73       | 0.89       | 1.04       | 1.22        |
| 30                  | 0.46               | 0.53      | 0.66      | 0.77       | 0.94       | 1.10       | 1.28        |
| 35                  | 0.48               | 0.56      | 0.69      | 0.81       | 0.99       | 1.15       | 1.35        |
| 40                  | 0.51               | 0.60      | 0.73      | 0.85       | 1.05       | 1.22       | 1.43        |
| 45                  | 0.54               | 0.64      | 0.78      | 0.91       | 1.12       | 1.30       | 1.52        |
| 50                  | 0.58               | 0.68      | 0.84      | 0.98       | 1.20       | 1.40       | 1.63        |
| 55                  | 0.63               | 0.74      | 0.91      | 1.06       | 1.30       | 1.51       | 1.77        |
| 60                  | 0.69               | 0.81      | 0.99      | 1.16       | 1.42       | 1.66       | 1.94        |
| 65                  | 0.77               | 0.90      | 1.11      | 1.29       | 1.58       | 1.85       | 2.16        |
| 70                  | 0.88               | 1.03      | 1.26      | 1.47       | 1.80       | 2.10       | 2.46        |
| 75                  | 1.04               | 1.21      | 1.49      | 1.73       | 2.13       | 2.48       | 2.90        |
| 80                  | 1.30               | 1.52      | 1.87      | 2.18       | 2.67       | 3.12       | 3.64        |
| 85                  | 1.88               | 2.20      | 2.69      | 3.14       | 3.86       | 4.50       | 5.26        |
| 90                  | 8.57               | 10.00     | 12.27     | 14.32      | 17.57      | 20.51      | 23.94       |
| 95                  | 2.61               | 3.05      | 3.74      | 4.36       | 5.35       | 6.25       | 7.29        |
| 100                 | 1.52               | 1.78      | 2.18      | 2.55       | 3.12       | 3.65       | 4.26        |
| 105                 | 1.15               | 1.34      | 1.65      | 1.92       | 2.36       | 2.75       | 3.22        |
| 110                 | 0.95               | 1.11      | 1.36      | 1.59       | 1.95       | 2.27       | 2.65        |
| 115                 | 0.82               | 0.96      | 1.18      | 1.37       | 1.68       | 1.97       | 2.29        |
| 120                 | 0.73               | 0.85      | 1.04      | 1.22       | 1.50       | 1.75       | 2.04        |
| 125                 | 0.66               | 0.77      | 0.95      | 1.10       | 1.36       | 1.58       | 1.85        |
| 130                 | 0.61               | 0.71      | 0.87      | 1.01       | 1.24       | 1.45       | 1.70        |
| 135                 | 0.56               | 0.66      | 0.81      | 0.94       | 1.15       | 1.35       | 1.57        |
| 140                 | 0.53               | 0.61      | 0.75      | 0.88       | 1.08       | 1.26       | 1.47        |
| 145                 | 0.50               | 0.58      | 0.71      | 0.83       | 1.02       | 1.19       | 1.39        |
| 150                 | 0.47               | 0.55      | 0.67      | 0.78       | 0.96       | 1.12       | 1.31        |
| 155                 | 0.45               | 0.52      | 0.64      | 0.75       | 0.92       | 1.07       | 1.25        |
| 160                 | 0.43               | 0.50      | 0.61      | 0.71       | 0.87       | 1.02       | 1.19        |
| 165                 | 0.41               | 0.48      | 0.58      | 0.68       | 0.84       | 0.98       | 1.14        |
| 170                 | 0.39               | 0.46      | 0.56      | 0.66       | 0.80       | 0.94       | 1.10        |
| 175                 | 0.38               | 0.44      | 0.54      | 0.63       | 0.77       | 0.90       | 1.05        |
| 180                 | 0.36               | 0.43      | 0.52      | 0.61       | 0.75       | 0.87       | 1.02        |

Con estos valores y las diferentes variables hidrológicas, se calibraron los diferentes modelos hidrológicos-hidráulicos desarrollados en EPA-SWMM, para calcular los diferentes caudales que aportan las subcuencas al área en estudio y en particular al canal de la calle 44, gran receptor de las aguas de lluvia del sector sur de la ciudad de Valledupar.

## 7.2 Modelado hidrológico-hidráulico de la cuenca de en estudio sin tanques

El modelado hidrológico-hidráulico del área en estudio, debe tener muy en cuenta no solo las características de las áreas aportantes, sino la del canal de la calle 44, porque es la estructura hidráulica que recoge y transporta todos los caudales que llegan de los sectores sur y sur oriente de Valledupar. Este canal está comprendido entre la glorieta del terminal de transporte y su entrega en inmediaciones del río Guatapurí al oriente, soporta una cuenca de unas 600 hectáreas y tiene una longitud aproximada de 2630 m. La Figura 37 muestra imágenes de la glorieta del terminal y los inicios del mencionado canal.



*Figura 37. Glorieta del terminal e inicio del canal de la calle 44*

A este canal se le ha responsabilizado de los problemas de inundación que suceden en estos sectores de la ciudad, aduciendo su baja capacidad de transporte, razón por la cual la actual administración municipal, por intermedio del Sistema de Integral de Transporte de Valledupar – SIVA lo rediseñó en todo su trayecto y en los actuales momentos se encuentra



en ejecución su construcción. La Tabla 54 suministrada por el SIVA, muestra los parámetros bajo los cuales fue rediseñado el mencionado canal y sobre el cual se fundamentó su actual rehabilitación. Los colores corresponden a los de la Figura 38, que muestra la imagen satelital del canal, donde se resaltan cada uno de los tramos rediseñados y en construcción.

Tabla 54. Parámetros de diseño y construcción actual del canal de la calle 44

| Descripción de Parámetro | Unid | TRAMOS             |                      |                      |                      |                       |                    |
|--------------------------|------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
|                          |      | 1<br>K0+000-K0+470 | 2.1<br>K0+470-K0+970 | 2.2<br>K0+970-K1+470 | 2.3<br>K1+470-K2+130 | 2.4*<br>K2+130-K2+166 | 3<br>K+2166-K2+630 |
| n:                       | adim | 0.013              | 0.013                | 0.013                | 0.013                | 0.013                 | 0.013              |
| z:                       | adim | 1                  | 1                    | 1                    | 1                    | 0                     | 1                  |
| Cota llegada:            | msnm | 141.09             | 139.59               | 138.09               | 136.11               | 135.98                | 133.89             |
| Longitud tramo:          | m    | 470.00             | 500.00               | 500.00               | 660.00               | 36.40                 | 464.00             |
| So:                      | %    | 0.30%              | 0.30%                | 0.30%                | 0.30%                | 0.36%                 | 0.45%              |
| b:                       | m    | 3.10               | 3.60                 | 4.10                 | 4.60                 | 8.00                  | 4.10               |
| y:                       | m    | 1.50               | 1.50                 | 1.50                 | 1.50                 | 1.50                  | 1.50               |
| A:                       | m2   | 6.90               | 7.65                 | 8.40                 | 9.15                 | 12.00                 | 8.40               |
| PM:                      | m    | 7.34               | 7.84                 | 8.34                 | 8.84                 | 11.00                 | 8.34               |
| RH:                      | m    | 0.94               | 0.98                 | 1.01                 | 1.03                 | 1.09                  | 1.01               |
| T:                       | m    | 6.10               | 6.60                 | 7.10                 | 7.60                 | 8.00                  | 7.10               |
| D:                       | m    | 1.13               | 1.16                 | 1.18                 | 1.20                 | 1.50                  | 1.18               |
| V:                       | m/s  | 4.04               | 4.14                 | 4.23                 | 4.31                 | 4.89                  | 5.19               |
| Q:                       | m3/s | 27.89              | 31.70                | 35.55                | 39.44                | 58.69                 | 43.58              |
| Fr:                      | Adim | 1.21               | 1.23                 | 1.24                 | 1.25                 | 1.28                  | 1.52               |
| BL:                      | m    | 0.50               | 0.50                 | 0.50                 | 0.50                 | 0.00                  | 0.50               |
| T':                      | m    | 7.10               | 7.60                 | 8.10                 | 8.60                 | 8.00                  | 8.10               |

\* Box-culver

Fuente: SIVA



Figura 38. Canal de la calle 44

Fuente: Google Earth

Al tramo 1 (QT1) confluyen los caudales aportados por las subcuencas S1 y S2, al tramo 2 (QT2) los caudales del tramo 1, más los caudales que entran por la carrera 5 y que son aportados por la subcuenca S3 (S3-1 y S3-2) y al tramo 3 (QT3) es el tramo final por donde transitan los caudales de los tramos anteriores más los caudales entregados por la subcuenca S4 y que entran por la carrera 4.

El tramo 1 (color azul oscuro en la Figura 38), fue diseñado para una capacidad máxima de  $27.89 \text{ m}^3/\text{s}$ , el tramo 2 en sus inicios (color cian en la Figura 38) tiene una capacidad de  $31.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , en inmediaciones de la carrera 5 (color verde en la Figura 38) donde llega la mayor parte de los caudales que aporta la subcuenca 3 (S3-1y S3-2), tiene una capacidad de  $39.44 \text{ m}^3/\text{s}$  y el boxculver de la carrera 4 (color rojo en la Figura 38) puede transportar hasta  $58.69 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua de lluvia, de ahí en adelante, es decir el tramo 3 (color blanco en la Figura 38) puede transportar hasta  $43.58 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Las Figuras 39 a 41 muestran imágenes del estado actual del mencionado canal.



*Figura 39. Canal de la calle 44. Tramo inicial*





*Figura 40. Canal de la calle 44. Tramo intermedio*



*Figura 41. Canal de la calle 44. Tramo final*

Para configurar el modelo hidrológico-hidráulico en EPA-SWMM de las áreas en estudio y canal colector de la calle 44, con el cual se analizaron no solo los problemas de inundación que afectan este sector, sino las alternativas de solución para mitigar estos

riesgos, fue necesario del uso, no solamente de la información topográfica y satelital de ese sector de la ciudad, sino de las variables hidrológicas tales como: área, ancho, longitud, pendientes de las subcuencas (%pendiente), porcentaje de área impermeable (%Impermeable), coeficiente de Manning impermeable ( $\eta$  - Impermeable), coeficiente de Manning permeable ( $\eta$  - Permeable) y área de las calles respecto al área total de la cuenca, entre otros. Adicional a ello se introdujo en el modelo, las secciones topográficas de cada calle, cuadra y manzana del área investigada y el lugar hacia donde drenan. El modelo de transito hidráulico utilizado fue el de la onda dinámica, que puede representar el comportamiento de fenómenos como remansos, flujo a presión, flujo inverso y distribuciones no ramificadas del sistema (sistemas mallados). En las condiciones de contorno o de frontera utilizadas aguas abajo en el modelo, se consideraron nudos de vertido tipo libre o Free, porque el tramo final del canal descarga libremente sobre la llanura aluvial del río Guatapurí.

Para este trabajo, el área impermeable (%) se determinó con base imágenes satelitales de la ciudad, en las Normas Urbanísticas del POT, en el Plan de Desarrollo y en las proyecciones de crecimiento de la ciudad, obteniendo un valor del 80%, la pendiente (%) con valor promedio del 1.0% y las áreas de cada una de las subcuencas, del mapa topográfico de la ciudad, el coeficiente  $\eta$  -Impermeable y  $\eta$  -Permeable fueron asumidos con base en información documental, con valores de 0.014 y 0.023 respectivamente y la infiltración, por medio de la Curva Número del SCS USA, con los valores mostrados en la Figura 18.

En la Figura 42 se resalta, en líneas de color verde, la superficie de mayor interés en este estudio, modelada en EPA-SWMM con secciones topográficas de vías y canales.

Esquemas del montaje y resultados de las corridas del modelo hidrológico-hidráulico de la situación actual, se muestran en las Figuras 43 y 44.

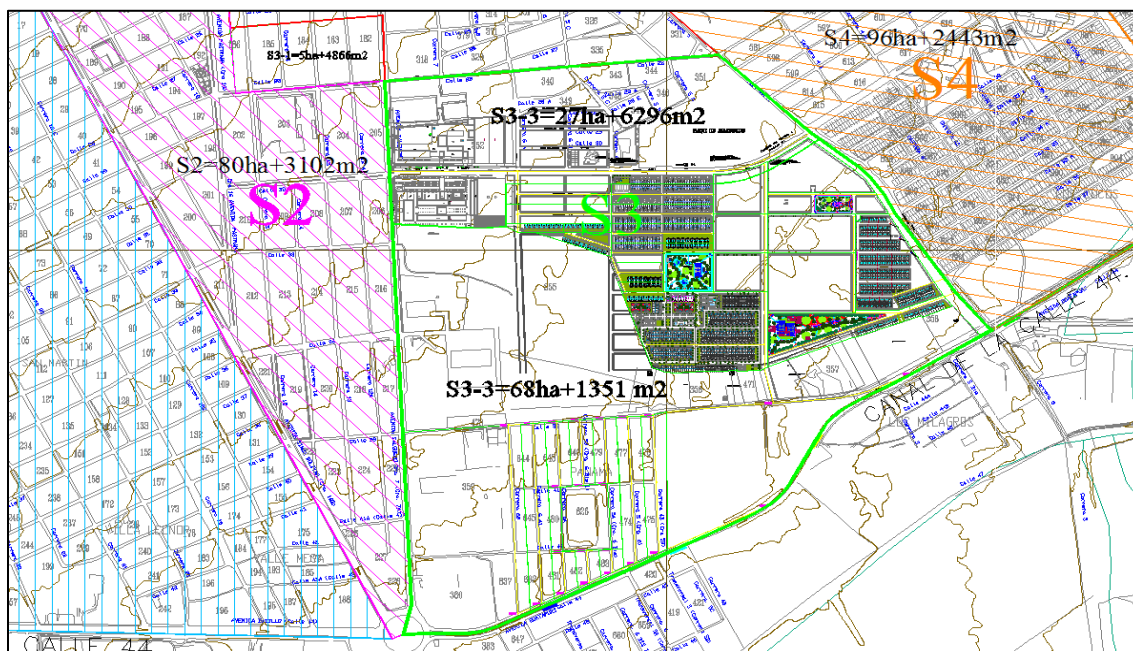


Figura 42. Área de estudio

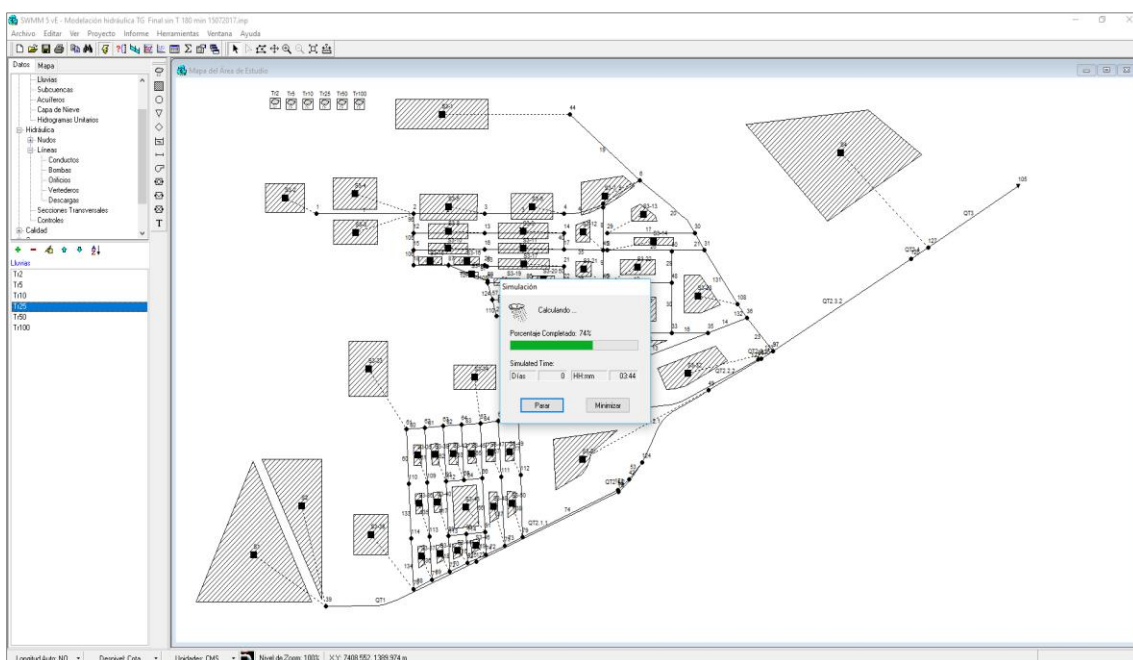


Figura 43. Ingreso de datos en EPA-SWMM



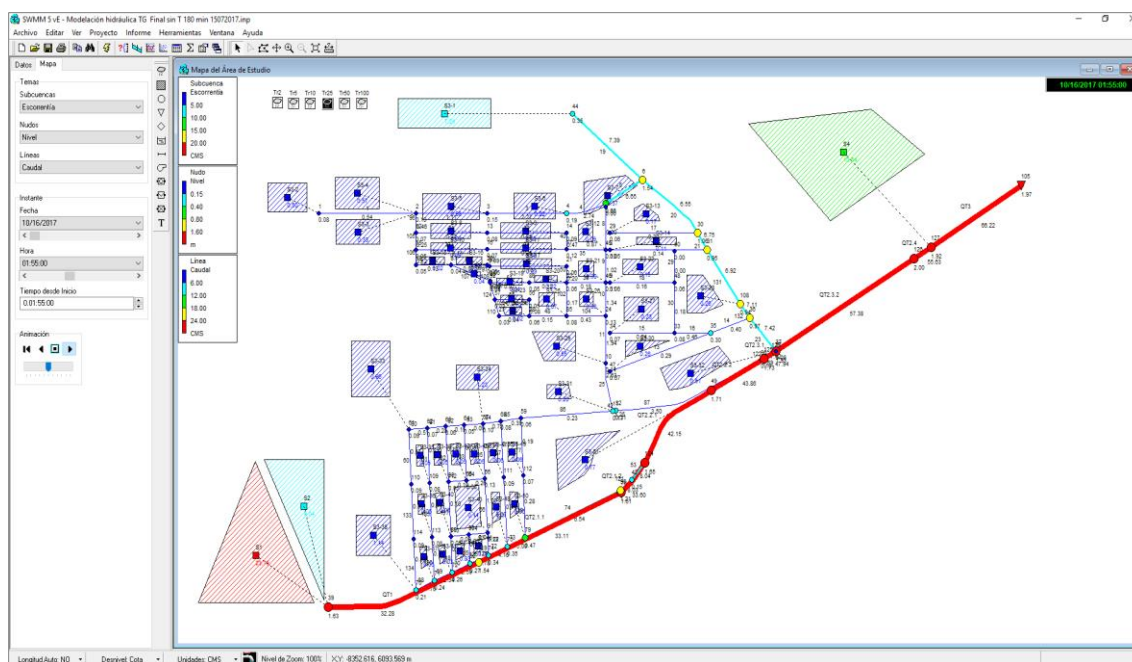


Figura 44. Esquema de los resultados de la modelación hidráulica en EPA-SWMM

Inicialmente se simuló la cuenca sin tanques, con el objeto de conocer la situación actual y tomarla como línea base o de referencia sobre los caudales de escorrentía y porcentaje de reducción de flujo máximo. Las simulaciones se hicieron con duraciones de lluvias de 45, 90 y 180 minutos y periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años para cada duración de tormenta analizada.

La Tablas 55, 56 y 57 muestran los resultados numéricos de los diferentes hidrogramas, con las duraciones y periodos de retorno antes descrito, en los tramos de mayor interés del canal de la calle 44 analizados en el modelo EPA-SWMM y con los que se construyeron las gráficas mostradas en las Figuras 45 a 47 siguientes.

Tabla 55. Hidrogramas generados con duración de lluvias de 45 min

| Duración<br>(hh:mm) | Hidrograma Tr 5 años |       |       | Hidrograma Tr 10 años |       |       | Hidrograma Tr 25 años |       |       | Hidrograma Tr 50 años |       |       | Hidrograma Tr 100 años |       |       |
|---------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
|                     | Q T1                 | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                   | Q T2  | Q T3  |
| 0:00                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                   | 0.00  | 0.00  |
| 0:05                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                   | 0.00  | 0.00  |
| 0:10                | 0.01                 | 0.00  | 0.00  | 0.02                  | 0.00  | 0.00  | 0.03                  | 0.00  | 0.01  | 0.05                  | 0.00  | 0.01  | 0.07                   | 0.00  | 0.02  |
| 0:15                | 0.16                 | 0.00  | 0.05  | 0.22                  | 0.00  | 0.07  | 0.36                  | 0.00  | 0.12  | 0.50                  | 0.01  | 0.18  | 0.71                   | 0.02  | 0.25  |
| 0:20                | 0.61                 | 0.02  | 0.22  | 0.83                  | 0.03  | 0.31  | 1.23                  | 0.06  | 0.47  | 1.63                  | 0.09  | 0.63  | 2.16                   | 0.13  | 0.86  |
| 0:25                | 1.49                 | 0.10  | 0.59  | 1.96                  | 0.15  | 0.79  | 2.81                  | 0.27  | 1.09  | 3.67                  | 0.46  | 1.36  | 4.81                   | 0.72  | 1.76  |
| 0:30                | 7.99                 | 0.90  | 2.54  | 10.52                 | 1.41  | 3.27  | 15.28                 | 2.80  | 4.89  | 20.29                 | 4.48  | 7.04  | 26.63                  | 7.04  | 10.52 |
| 0:35                | 11.43                | 6.19  | 7.11  | 14.72                 | 9.93  | 10.57 | 20.63                 | 17.99 | 17.95 | 26.63                 | 27.17 | 25.95 | 34.35                  | 39.74 | 37.44 |
| 0:40                | 12.51                | 20.51 | 20.84 | 15.98                 | 27.53 | 30.12 | 22.12                 | 38.45 | 46.43 | 28.20                 | 48.45 | 59.50 | 35.85                  | 57.41 | 65.63 |
| 0:45                | 12.82                | 23.11 | 28.22 | 16.25                 | 29.02 | 35.39 | 22.17                 | 39.37 | 47.75 | 27.95                 | 49.10 | 59.78 | 35.13                  | 57.77 | 66.98 |
| 0:50                | 12.78                | 23.76 | 28.58 | 16.07                 | 29.67 | 35.73 | 21.67                 | 38.82 | 47.29 | 27.04                 | 47.07 | 58.01 | 33.63                  | 57.30 | 66.68 |
| 0:55                | 11.51                | 23.52 | 28.08 | 14.32                 | 28.59 | 34.49 | 19.02                 | 36.82 | 44.44 | 23.45                 | 44.35 | 53.85 | 28.78                  | 53.35 | 64.94 |
| 1:00                | 10.20                | 21.57 | 26.07 | 12.57                 | 26.08 | 31.38 | 16.48                 | 33.51 | 40.26 | 20.10                 | 39.85 | 48.23 | 24.39                  | 47.35 | 57.87 |
| 1:05                | 9.09                 | 18.99 | 23.11 | 11.10                 | 23.87 | 28.42 | 14.38                 | 30.06 | 35.98 | 17.37                 | 34.97 | 42.13 | 20.87                  | 41.15 | 50.00 |
| 1:10                | 8.14                 | 16.81 | 20.28 | 9.86                  | 21.14 | 25.42 | 12.62                 | 26.59 | 31.83 | 15.12                 | 30.48 | 36.63 | 18.02                  | 35.37 | 42.64 |
| 1:15                | 7.32                 | 15.08 | 18.16 | 8.80                  | 18.59 | 22.32 | 11.15                 | 22.79 | 27.46 | 13.25                 | 26.02 | 31.58 | 15.66                  | 30.42 | 36.61 |
| 1:20                | 6.66                 | 13.54 | 16.28 | 7.90                  | 16.29 | 19.64 | 9.91                  | 20.34 | 24.17 | 11.69                 | 22.67 | 27.14 | 13.71                  | 25.49 | 30.95 |
| 1:25                | 6.09                 | 12.31 | 14.72 | 7.16                  | 14.27 | 17.24 | 8.86                  | 18.45 | 21.78 | 10.37                 | 20.53 | 24.27 | 12.08                  | 22.64 | 26.96 |
| 1:30                | 5.59                 | 11.29 | 13.44 | 6.54                  | 12.78 | 15.33 | 8.00                  | 16.74 | 19.75 | 9.26                  | 18.81 | 22.07 | 10.71                  | 20.59 | 24.29 |
| 1:35                | 5.14                 | 10.41 | 12.33 | 5.98                  | 11.68 | 13.92 | 7.26                  | 14.91 | 17.73 | 8.35                  | 17.41 | 20.27 | 9.55                   | 18.93 | 22.15 |
| 1:40                | 4.74                 | 9.67  | 11.41 | 5.50                  | 10.73 | 12.73 | 6.62                  | 13.12 | 15.67 | 7.57                  | 16.20 | 18.75 | 8.60                   | 17.55 | 20.39 |
| 1:45                | 4.38                 | 8.86  | 10.52 | 5.06                  | 9.95  | 11.75 | 6.06                  | 11.75 | 13.97 | 6.89                  | 15.02 | 17.36 | 7.79                   | 16.40 | 18.92 |
| 1:50                | 4.06                 | 7.94  | 9.52  | 4.67                  | 9.16  | 10.85 | 5.57                  | 10.73 | 12.68 | 6.30                  | 13.57 | 15.86 | 7.09                   | 15.42 | 17.66 |
| 1:55                | 3.77                 | 7.12  | 8.56  | 4.32                  | 8.21  | 9.84  | 5.12                  | 9.93  | 11.65 | 5.78                  | 11.93 | 14.08 | 6.48                   | 14.58 | 16.59 |
| 2:00                | 3.51                 | 6.42  | 7.73  | 4.01                  | 7.36  | 8.85  | 4.73                  | 9.19  | 10.78 | 5.31                  | 10.65 | 12.53 | 5.93                   | 13.80 | 15.64 |
| 2:05                | 3.27                 | 5.87  | 7.04  | 3.72                  | 6.64  | 7.98  | 4.37                  | 8.24  | 9.82  | 4.90                  | 9.74  | 11.38 | 5.45                   | 12.94 | 14.70 |
| 2:10                | 3.06                 | 5.38  | 6.46  | 3.46                  | 6.06  | 7.26  | 4.05                  | 7.34  | 8.80  | 4.52                  | 9.03  | 10.48 | 5.02                   | 11.67 | 13.48 |
| 2:15                | 2.86                 | 4.95  | 5.94  | 3.23                  | 5.56  | 6.66  | 3.77                  | 6.57  | 7.89  | 4.19                  | 8.29  | 9.70  | 4.64                   | 10.24 | 11.94 |
| 2:20                | 2.68                 | 4.66  | 5.49  | 3.02                  | 5.11  | 6.13  | 3.50                  | 6.00  | 7.15  | 3.89                  | 7.32  | 8.72  | 4.29                   | 9.18  | 10.65 |
| 2:25                | 2.51                 | 4.34  | 5.17  | 2.82                  | 4.86  | 5.75  | 3.27                  | 5.63  | 6.64  | 3.62                  | 6.46  | 7.75  | 3.98                   | 8.42  | 9.71  |
| 2:30                | 2.36                 | 3.96  | 4.82  | 2.65                  | 4.49  | 5.37  | 3.05                  | 5.17  | 6.17  | 3.37                  | 5.80  | 6.93  | 3.70                   | 7.83  | 8.99  |
| 2:35                | 2.22                 | 3.67  | 4.53  | 2.48                  | 4.19  | 4.95  | 2.85                  | 4.78  | 5.66  | 3.14                  | 5.34  | 6.29  | 3.44                   | 6.96  | 8.20  |
| 2:40                | 2.09                 | 3.54  | 4.21  | 2.33                  | 4.14  | 4.72  | 2.67                  | 4.43  | 5.32  | 2.94                  | 4.98  | 5.93  | 3.21                   | 6.07  | 7.24  |
| 2:45                | 1.97                 | 3.50  | 4.03  | 2.20                  | 3.91  | 4.60  | 2.51                  | 4.09  | 4.92  | 2.75                  | 4.58  | 5.46  | 3.00                   | 5.51  | 6.42  |
| 2:50                | 1.86                 | 3.17  | 3.78  | 2.07                  | 3.62  | 4.29  | 2.36                  | 3.97  | 4.55  | 2.58                  | 4.55  | 5.11  | 2.81                   | 5.22  | 5.98  |
| 2:55                | 1.76                 | 2.98  | 3.54  | 1.95                  | 3.36  | 3.98  | 2.22                  | 3.81  | 4.47  | 2.42                  | 4.24  | 4.97  | 2.63                   | 5.22  | 6.09  |
| 3:00                | 1.66                 | 2.65  | 3.27  | 1.84                  | 3.12  | 3.71  | 2.09                  | 3.53  | 4.18  | 2.28                  | 3.90  | 4.61  | 2.47                   | 4.58  | 5.43  |
| 3:05                | 1.58                 | 2.52  | 3.01  | 1.74                  | 2.89  | 3.45  | 1.97                  | 3.28  | 3.88  | 2.14                  | 3.60  | 4.26  | 2.32                   | 4.15  | 4.90  |
| 3:10                | 1.49                 | 2.40  | 2.86  | 1.65                  | 2.64  | 3.13  | 1.86                  | 3.06  | 3.62  | 2.02                  | 3.34  | 3.95  | 2.18                   | 3.79  | 4.47  |
| 3:15                | 1.42                 | 2.31  | 2.72  | 1.56                  | 2.47  | 2.95  | 1.76                  | 2.74  | 3.35  | 1.91                  | 3.10  | 3.67  | 2.06                   | 3.47  | 4.11  |
| 3:20                | 1.34                 | 2.36  | 2.55  | 1.48                  | 2.33  | 2.78  | 1.66                  | 2.63  | 3.09  | 1.80                  | 2.89  | 3.42  | 1.94                   | 3.20  | 3.79  |
| 3:25                | 1.28                 | 2.23  | 2.48  | 1.40                  | 2.28  | 2.62  | 1.57                  | 2.42  | 2.91  | 1.70                  | 2.64  | 3.20  | 1.83                   | 2.97  | 3.51  |
| 3:30                | 1.21                 | 2.24  | 2.47  | 1.33                  | 2.21  | 2.57  | 1.49                  | 2.29  | 2.73  | 1.61                  | 2.48  | 2.95  | 1.73                   | 2.76  | 3.26  |
| 3:35                | 1.16                 | 2.09  | 2.43  | 1.27                  | 2.21  | 2.53  | 1.42                  | 2.29  | 2.63  | 1.53                  | 2.38  | 2.78  | 1.64                   | 2.48  | 3.03  |
| 3:40                | 1.10                 | 1.97  | 2.27  | 1.20                  | 2.12  | 2.40  | 1.34                  | 2.17  | 2.54  | 1.45                  | 2.20  | 2.61  | 1.55                   | 2.31  | 2.76  |
| 3:45                | 1.05                 | 1.82  | 2.14  | 1.15                  | 2.04  | 2.32  | 1.28                  | 2.12  | 2.46  | 1.37                  | 2.09  | 2.58  | 1.47                   | 2.19  | 2.61  |
| 3:50                | 1.00                 | 1.81  | 2.04  | 1.09                  | 1.94  | 2.19  | 1.21                  | 2.08  | 2.37  | 1.31                  | 2.31  | 2.46  | 1.40                   | 2.11  | 2.58  |
| 3:55                | 0.95                 | 1.69  | 1.96  | 1.04                  | 1.87  | 2.12  | 1.16                  | 1.95  | 2.27  | 1.24                  | 2.07  | 2.40  | 1.33                   | 2.27  | 2.46  |
| 4:00                | 0.91                 | 1.62  | 1.87  | 0.99                  | 1.75  | 2.03  | 1.10                  | 1.88  | 2.15  | 1.18                  | 1.93  | 2.32  | 1.26                   | 2.16  | 2.43  |
| 4:05                | 0.87                 | 1.41  | 1.75  | 0.95                  | 1.65  | 1.89  | 1.05                  | 1.85  | 2.04  | 1.12                  | 1.88  | 2.21  | 1.20                   | 1.98  | 2.33  |
| 4:10                | 0.83                 | 1.40  | 1.65  | 0.90                  | 1.60  | 1.82  | 1.00                  | 1.81  | 2.01  | 1.07                  | 1.76  | 2.13  | 1.14                   | 1.96  | 2.21  |
| 4:15                | 0.79                 | 1.35  | 2.03  | 0.86                  | 1.47  | 1.71  | 0.95                  | 1.54  | 1.94  | 1.02                  | 1.66  | 1.97  | 1.09                   | 1.85  | 2.07  |
| 4:20                | 0.76                 | 1.18  | 2.17  | 0.82                  | 1.37  | 1.61  | 0.91                  | 1.52  | 1.77  | 0.97                  | 1.55  | 1.88  | 1.04                   | 1.78  | 2.03  |
| 4:25                | 0.73                 | 0.89  | 1.26  | 0.79                  | 1.89  | 2.93  | 0.87                  | 1.38  | 1.65  | 0.93                  | 1.48  | 1.78  | 0.99                   | 1.58  | 1.89  |
| 4:30                | 0.70                 | 0.84  | 1.04  | 0.75                  | 0.99  | 1.69  | 0.83                  | 1.43  | 1.59  | 0.89                  | 1.42  | 1.66  | 0.94                   | 1.47  | 1.76  |
| 4:35                | 0.67                 | 0.97  | 0.98  | 0.72                  | 0.87  | 1.13  | 0.79                  | 3.38  | 1.70  | 0.85                  | 1.30  | 1.58  | 0.90                   | 1.41  | 1.64  |
| 4:40                | 0.64                 | 1.05  | 1.11  | 0.69                  | 0.83  | 1.01  | 0.76                  | 1.25  | 2.29  | 0.81                  | 1.30  | 1.53  | 0.86                   | 1.33  | 1.57  |
| 4:45                | 0.61                 | 0.96  | 1.17  | 0.66                  | 0.94  | 0.97  | 0.73                  | 0.89  | 1.29  | 0.78                  | 1.65  | 2.76  | 0.82                   | 2.06  | 1.53  |
| 4:50                | 0.59                 | 1.01  | 1.12  | 0.63                  | 1.00  | 1.09  | 0.70                  | 0.83  | 1.03  | 0.74                  | 0.95  | 1.54  | 0.79                   | 1.52  | 2.67  |
| 4:55                | 0.56                 | 0.92  | 1.08  | 0.61                  | 0.98  | 1.13  | 0.67                  | 0.80  | 0.96  | 0.71                  | 0.85  | 1.08  | 0.75                   | 0.94  | 1.46  |
| 5:00                | 0.54                 | 0.89  | 1.02  | 0.58                  | 0.94  | 1.10  | 0.64                  | 1.02  | 0.94  | 0.68                  | 0.81  | 0.98  | 0.72                   | 0.86  | 1.08  |

Tabla 56. Hidrogramas generados con duración de lluvias de 90 min

| Duración<br>(hh:mm) | Hidrograma Tr 5 años |       |       | Hidrograma Tr 10 años |       |       | Hidrograma Tr 25 años |       |       | Hidrograma Tr 50 años |       |       | Hidrograma Tr 100 años |       |       |
|---------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
|                     | Q T1                 | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                   | Q T2  | Q T3  |
| 0:00                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                   | 0.00  | 0.00  |
| 0:05                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                   | 0.00  | 0.00  |
| 0:10                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.01                  | 0.00  | 0.00  | 0.02                  | 0.00  | 0.00  | 0.02                  | 0.00  | 0.00  | 0.03                   | 0.00  | 0.01  |
| 0:15                | 0.07                 | 0.00  | 0.02  | 0.11                  | 0.00  | 0.02  | 0.17                  | 0.00  | 0.04  | 0.25                  | 0.00  | 0.06  | 0.35                   | 0.00  | 0.09  |
| 0:20                | 0.28                 | 0.00  | 0.07  | 0.39                  | 0.01  | 0.11  | 0.59                  | 0.02  | 0.17  | 0.80                  | 0.02  | 0.23  | 1.07                   | 0.03  | 0.32  |
| 0:25                | 0.61                 | 0.02  | 0.18  | 0.81                  | 0.03  | 0.25  | 1.17                  | 0.06  | 0.37  | 1.53                  | 0.09  | 0.50  | 2.00                   | 0.14  | 0.67  |
| 0:30                | 1.03                 | 0.06  | 0.34  | 1.34                  | 0.10  | 0.45  | 1.90                  | 0.19  | 0.67  | 2.47                  | 0.33  | 0.90  | 3.21                   | 0.63  | 1.19  |
| 0:35                | 1.58                 | 0.19  | 0.57  | 2.05                  | 0.37  | 0.77  | 2.89                  | 0.86  | 1.20  | 3.75                  | 1.60  | 1.76  | 4.85                   | 2.72  | 2.80  |
| 0:40                | 2.38                 | 0.81  | 1.03  | 3.08                  | 1.45  | 1.58  | 4.32                  | 2.66  | 2.85  | 5.55                  | 4.05  | 4.28  | 7.16                   | 6.07  | 6.45  |
| 0:45                | 3.73                 | 2.11  | 2.44  | 4.79                  | 3.16  | 3.55  | 6.70                  | 5.37  | 5.89  | 8.61                  | 7.78  | 8.59  | 11.09                  | 10.79 | 12.20 |
| 0:50                | 13.14                | 5.09  | 6.60  | 17.14                 | 7.41  | 9.56  | 24.31                 | 11.48 | 15.08 | 31.57                 | 15.50 | 20.56 | 40.55                  | 20.75 | 27.61 |
| 0:55                | 16.78                | 15.42 | 15.37 | 21.48                 | 22.15 | 21.66 | 29.80                 | 34.89 | 33.25 | 38.02                 | 47.79 | 45.48 | 47.46                  | 54.18 | 58.15 |
| 1:00                | 17.51                | 28.98 | 33.50 | 22.15                 | 36.64 | 44.48 | 30.13                 | 49.77 | 60.87 | 37.94                 | 57.58 | 66.49 | 47.41                  | 57.68 | 66.79 |
| 1:05                | 17.22                | 29.84 | 35.43 | 21.56                 | 37.46 | 44.60 | 28.90                 | 49.70 | 59.77 | 35.91                 | 57.77 | 66.63 | 44.24                  | 57.77 | 67.45 |
| 1:10                | 16.60                | 30.00 | 35.77 | 20.59                 | 36.42 | 43.83 | 27.21                 | 46.81 | 56.84 | 33.42                 | 57.23 | 66.32 | 40.94                  | 57.78 | 67.04 |
| 1:15                | 15.83                | 28.64 | 34.46 | 19.46                 | 34.69 | 41.68 | 25.42                 | 44.56 | 53.79 | 30.92                 | 53.36 | 64.65 | 37.49                  | 57.78 | 66.65 |
| 1:20                | 15.02                | 27.44 | 32.79 | 18.32                 | 33.36 | 39.79 | 23.67                 | 42.08 | 50.64 | 28.56                 | 49.83 | 60.49 | 34.25                  | 57.78 | 66.30 |
| 1:25                | 14.21                | 26.53 | 31.53 | 17.21                 | 31.82 | 37.96 | 22.04                 | 39.21 | 47.17 | 26.38                 | 45.77 | 55.63 | 31.42                  | 54.54 | 65.78 |
| 1:30                | 13.43                | 24.91 | 29.82 | 16.16                 | 29.88 | 35.74 | 20.53                 | 36.39 | 43.79 | 24.42                 | 42.03 | 51.15 | 28.91                  | 50.28 | 61.03 |
| 1:35                | 11.87                | 23.27 | 27.71 | 15.19                 | 27.62 | 33.14 | 19.14                 | 33.78 | 40.64 | 22.66                 | 38.78 | 46.86 | 26.68                  | 45.79 | 55.71 |
| 1:40                | 10.40                | 20.92 | 25.08 | 13.35                 | 25.86 | 30.74 | 16.62                 | 30.84 | 37.03 | 19.49                 | 35.57 | 42.74 | 22.72                  | 41.39 | 50.13 |
| 1:45                | 9.16                 | 18.40 | 22.17 | 11.63                 | 23.49 | 27.97 | 14.32                 | 27.73 | 33.20 | 16.65                 | 31.13 | 37.62 | 19.24                  | 36.00 | 43.50 |
| 1:50                | 8.12                 | 16.10 | 19.45 | 10.20                 | 21.02 | 25.03 | 12.44                 | 24.71 | 29.50 | 14.35                 | 27.41 | 32.93 | 16.46                  | 30.80 | 37.39 |
| 1:55                | 7.23                 | 14.24 | 17.13 | 9.00                  | 18.56 | 22.19 | 10.88                 | 22.08 | 26.24 | 12.46                 | 24.28 | 29.03 | 14.20                  | 26.68 | 32.13 |
| 2:00                | 6.46                 | 12.82 | 15.33 | 7.98                  | 16.13 | 19.43 | 9.57                  | 19.92 | 23.52 | 10.90                 | 21.71 | 25.79 | 12.35                  | 23.64 | 28.26 |
| 2:05                | 5.80                 | 11.62 | 13.86 | 7.11                  | 14.08 | 16.96 | 8.47                  | 18.15 | 21.28 | 9.59                  | 19.64 | 23.17 | 10.80                  | 21.23 | 25.19 |
| 2:10                | 5.24                 | 10.61 | 12.60 | 6.37                  | 12.59 | 15.04 | 7.53                  | 16.63 | 19.39 | 8.48                  | 17.96 | 21.02 | 9.51                   | 19.28 | 22.70 |
| 2:15                | 4.76                 | 9.75  | 11.55 | 5.72                  | 11.39 | 13.56 | 6.72                  | 15.22 | 17.72 | 7.54                  | 16.60 | 19.28 | 8.42                   | 17.71 | 20.68 |
| 2:20                | 4.35                 | 8.83  | 10.55 | 5.17                  | 10.39 | 12.31 | 6.03                  | 13.56 | 15.98 | 6.74                  | 15.45 | 17.81 | 7.49                   | 16.40 | 19.01 |
| 2:25                | 3.99                 | 7.86  | 9.47  | 4.70                  | 9.55  | 11.29 | 5.44                  | 11.79 | 14.03 | 6.05                  | 14.46 | 16.56 | 6.69                   | 15.28 | 17.59 |
| 2:30                | 3.67                 | 7.02  | 8.49  | 4.30                  | 8.62  | 10.30 | 4.94                  | 10.44 | 12.39 | 5.47                  | 13.60 | 15.50 | 6.01                   | 14.33 | 16.39 |
| 2:35                | 3.39                 | 6.31  | 7.63  | 3.94                  | 7.65  | 9.22  | 4.51                  | 9.48  | 11.18 | 4.98                  | 12.75 | 14.50 | 5.44                   | 13.53 | 15.38 |
| 2:40                | 3.13                 | 5.74  | 6.93  | 3.63                  | 6.81  | 8.25  | 4.13                  | 8.75  | 10.24 | 4.54                  | 11.64 | 13.41 | 4.95                   | 12.84 | 14.50 |
| 2:45                | 2.90                 | 5.24  | 6.33  | 3.35                  | 6.13  | 7.41  | 3.79                  | 8.00  | 9.44  | 4.16                  | 10.16 | 11.93 | 4.52                   | 12.26 | 13.76 |
| 2:50                | 2.69                 | 4.80  | 5.80  | 3.10                  | 5.58  | 6.74  | 3.50                  | 7.04  | 8.47  | 3.82                  | 8.96  | 10.51 | 4.14                   | 11.75 | 13.11 |
| 2:55                | 2.51                 | 4.54  | 5.49  | 2.87                  | 5.10  | 6.16  | 3.23                  | 6.19  | 7.50  | 3.52                  | 8.14  | 9.48  | 3.81                   | 11.29 | 12.54 |
| 3:00                | 2.34                 | 4.21  | 5.05  | 2.67                  | 4.83  | 5.73  | 2.99                  | 5.51  | 6.67  | 3.25                  | 7.54  | 8.71  | 3.51                   | 10.75 | 11.96 |
| 3:05                | 2.18                 | 3.89  | 4.66  | 2.48                  | 4.47  | 5.34  | 2.77                  | 5.20  | 6.21  | 3.01                  | 6.83  | 8.02  | 3.24                   | 9.83  | 11.16 |
| 3:10                | 2.04                 | 3.59  | 4.33  | 2.32                  | 4.10  | 4.91  | 2.58                  | 4.73  | 5.71  | 2.80                  | 5.91  | 7.10  | 3.00                   | 8.55  | 9.91  |
| 3:15                | 1.91                 | 3.60  | 4.15  | 2.16                  | 4.17  | 4.87  | 2.40                  | 4.23  | 5.20  | 2.60                  | 5.14  | 6.22  | 2.79                   | 7.51  | 8.71  |
| 3:20                | 1.79                 | 3.34  | 3.98  | 2.02                  | 3.82  | 4.56  | 2.24                  | 4.32  | 4.88  | 2.42                  | 4.91  | 5.72  | 2.59                   | 6.85  | 7.85  |
| 3:25                | 1.68                 | 3.01  | 3.65  | 1.89                  | 3.52  | 4.21  | 2.09                  | 4.00  | 4.75  | 2.26                  | 5.05  | 5.65  | 2.41                   | 6.35  | 7.25  |
| 3:30                | 1.58                 | 2.77  | 3.34  | 1.77                  | 3.25  | 3.89  | 1.96                  | 3.66  | 4.38  | 2.11                  | 4.37  | 5.23  | 2.25                   | 5.56  | 6.57  |
| 3:35                | 1.48                 | 2.54  | 3.10  | 1.67                  | 3.00  | 3.61  | 1.83                  | 3.37  | 4.04  | 1.97                  | 3.92  | 4.69  | 2.10                   | 4.71  | 5.70  |
| 3:40                | 1.40                 | 2.34  | 2.91  | 1.57                  | 2.78  | 3.34  | 1.72                  | 3.10  | 3.72  | 1.85                  | 3.55  | 4.25  | 1.97                   | 4.25  | 5.05  |
| 3:45                | 1.32                 | 2.37  | 2.72  | 1.47                  | 2.50  | 3.07  | 1.62                  | 2.87  | 3.45  | 1.73                  | 3.23  | 3.88  | 1.84                   | 3.96  | 4.65  |
| 3:50                | 1.24                 | 2.26  | 2.67  | 1.39                  | 2.52  | 2.90  | 1.52                  | 2.63  | 3.18  | 1.63                  | 2.96  | 3.56  | 1.73                   | 3.85  | 4.48  |
| 3:55                | 1.17                 | 2.21  | 2.56  | 1.31                  | 2.22  | 2.76  | 1.43                  | 2.43  | 2.90  | 1.53                  | 2.72  | 3.27  | 1.62                   | 3.40  | 4.07  |
| 4:00                | 1.11                 | 2.13  | 2.48  | 1.24                  | 2.35  | 2.56  | 1.35                  | 2.41  | 2.78  | 1.44                  | 2.40  | 2.98  | 1.53                   | 3.03  | 3.65  |
| 4:05                | 1.05                 | 2.15  | 2.41  | 1.17                  | 2.26  | 2.49  | 1.27                  | 2.26  | 2.69  | 1.36                  | 2.23  | 2.73  | 1.44                   | 2.73  | 3.29  |
| 4:10                | 1.00                 | 1.97  | 2.30  | 1.10                  | 2.01  | 2.44  | 1.20                  | 2.25  | 2.55  | 1.28                  | 2.26  | 2.58  | 1.36                   | 2.34  | 2.91  |
| 4:15                | 0.94                 | 1.87  | 2.17  | 1.05                  | 2.07  | 2.33  | 1.14                  | 2.28  | 2.46  | 1.21                  | 2.26  | 2.54  | 1.28                   | 2.22  | 2.63  |
| 4:20                | 0.90                 | 1.70  | 2.02  | 0.99                  | 1.92  | 2.24  | 1.08                  | 2.07  | 2.42  | 1.14                  | 2.04  | 2.38  | 1.21                   | 2.20  | 2.56  |
| 4:25                | 0.85                 | 1.64  | 1.89  | 0.94                  | 1.72  | 2.09  | 1.02                  | 1.89  | 2.29  | 1.08                  | 2.04  | 2.30  | 1.14                   | 2.28  | 2.53  |
| 4:30                | 0.81                 | 1.55  | 1.77  | 0.89                  | 1.66  | 1.98  | 0.96                  | 1.90  | 2.15  | 1.02                  | 1.89  | 2.25  | 1.08                   | 2.19  | 2.47  |
| 4:35                | 0.77                 | 1.54  | 1.69  | 0.85                  | 1.54  | 1.87  | 0.92                  | 1.79  | 2.02  | 0.97                  | 1.84  | 2.12  | 1.02                   | 1.94  | 2.34  |
| 4:40                | 0.73                 | 1.36  | 1.65  | 0.80                  | 1.47  | 1.80  | 0.87                  | 1.71  | 1.91  | 0.92                  | 1.70  | 1.99  | 0.97                   | 1.85  | 2.14  |
| 4:45                | 0.69                 | 2.54  | 2.42  | 0.76                  | 1.46  | 1.73  | 0.82                  | 1.53  | 1.82  | 0.87                  | 1.62  | 1.89  | 0.92                   | 1.67  | 2.01  |
| 4:50                | 0.66                 | 1.01  | 1.91  | 0.73                  | 1.26  | 1.61  | 0.78                  | 1.40  | 1.69  | 0.83                  | 1.55  | 1.77  | 0.87                   | 1.65  | 1.91  |
| 4:55                | 0.63                 | 0.79  | 1.14  | 0.69                  | 1.29  | 1.46  | 0.74                  | 3.03  | 2.14  | 0.79                  | 1.51  | 1.74  | 0.83                   | 1.52  | 1.84  |
| 5:00                | 0.60                 | 0.75  | 0.95  | 0.66                  | 1.19  | 1.38  | 0.71                  | 1.13  | 2.12  | 0.75                  | 4.31  | 1.66  | 0.79                   | 1.40  | 1.70  |



Tabla 57. Hidrogramas generados con duración de lluvias de 180 min

| Duración<br>(hh:mm) | Hidrograma Tr 5 años |       |       | Hidrograma Tr 10 años |       |       | Hidrograma Tr 25 años |       |       | Hidrograma Tr 50 años |       |       | Hidrograma Tr 100 años |       |       |
|---------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
|                     | Q T1                 | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                  | Q T2  | Q T3  | Q T1                   | Q T2  | Q T3  |
| 0:00                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                   | 0.00  | 0.00  |
| 0:05                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                   | 0.00  | 0.00  |
| 0:10                | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                  | 0.00  | 0.00  | 0.00                   | 0.00  | 0.00  |
| 0:15                | 0.02                 | 0.00  | 0.00  | 0.02                  | 0.00  | 0.01  | 0.04                  | 0.00  | 0.01  | 0.06                  | 0.00  | 0.02  | 0.09                   | 0.00  | 0.03  |
| 0:20                | 0.07                 | 0.00  | 0.02  | 0.10                  | 0.00  | 0.03  | 0.16                  | 0.00  | 0.05  | 0.22                  | 0.00  | 0.08  | 0.31                   | 0.01  | 0.11  |
| 0:25                | 0.17                 | 0.00  | 0.06  | 0.23                  | 0.01  | 0.08  | 0.35                  | 0.01  | 0.13  | 0.48                  | 0.02  | 0.18  | 0.64                   | 0.03  | 0.25  |
| 0:30                | 0.30                 | 0.01  | 0.11  | 0.40                  | 0.02  | 0.16  | 0.58                  | 0.04  | 0.23  | 0.76                  | 0.06  | 0.31  | 0.99                   | 0.09  | 0.42  |
| 0:35                | 0.44                 | 0.03  | 0.18  | 0.58                  | 0.05  | 0.24  | 0.83                  | 0.09  | 0.35  | 1.08                  | 0.14  | 0.48  | 1.41                   | 0.27  | 0.65  |
| 0:40                | 0.60                 | 0.06  | 0.26  | 0.79                  | 0.11  | 0.35  | 1.12                  | 0.25  | 0.53  | 1.46                  | 0.50  | 0.74  | 1.89                   | 0.93  | 1.10  |
| 0:45                | 0.79                 | 0.16  | 0.37  | 1.03                  | 0.32  | 0.52  | 1.45                  | 0.76  | 0.88  | 1.88                  | 1.29  | 1.42  | 2.43                   | 2.03  | 2.26  |
| 0:50                | 1.00                 | 0.44  | 0.57  | 1.30                  | 0.80  | 0.90  | 1.83                  | 1.48  | 1.68  | 2.36                  | 2.12  | 2.55  | 3.04                   | 3.05  | 3.59  |
| 0:55                | 1.24                 | 0.88  | 1.01  | 1.61                  | 1.33  | 1.61  | 2.25                  | 2.15  | 2.60  | 2.90                  | 3.14  | 3.65  | 3.72                   | 4.64  | 5.23  |
| 1:00                | 1.52                 | 1.31  | 1.63  | 1.97                  | 1.86  | 2.34  | 2.74                  | 3.16  | 3.67  | 3.50                  | 4.53  | 5.16  | 4.49                   | 6.26  | 7.25  |
| 1:05                | 1.85                 | 1.80  | 2.24  | 2.38                  | 2.70  | 3.16  | 3.29                  | 4.40  | 5.01  | 4.21                  | 5.95  | 6.94  | 5.37                   | 7.93  | 9.25  |
| 1:10                | 2.23                 | 2.61  | 3.00  | 2.86                  | 3.71  | 4.27  | 3.94                  | 5.65  | 6.58  | 5.03                  | 7.46  | 8.73  | 6.41                   | 9.67  | 11.43 |
| 1:15                | 2.68                 | 3.54  | 4.05  | 3.43                  | 4.82  | 5.59  | 4.73                  | 7.36  | 8.46  | 6.01                  | 8.99  | 10.67 | 7.65                   | 11.37 | 13.58 |
| 1:20                | 3.26                 | 4.66  | 5.35  | 4.16                  | 5.97  | 7.05  | 5.73                  | 9.03  | 10.51 | 7.27                  | 10.63 | 12.79 | 9.23                   | 13.70 | 16.25 |
| 1:25                | 4.06                 | 5.89  | 6.85  | 5.17                  | 7.33  | 8.73  | 7.10                  | 10.88 | 12.91 | 9.01                  | 12.91 | 15.35 | 11.43                  | 16.32 | 19.65 |
| 1:30                | 5.36                 | 7.50  | 8.78  | 6.83                  | 9.07  | 10.91 | 9.40                  | 12.44 | 15.06 | 11.92                 | 15.90 | 19.22 | 15.14                  | 20.08 | 24.23 |
| 1:35                | 14.25                | 10.91 | 14.16 | 18.48                 | 13.05 | 17.36 | 25.93                 | 18.22 | 24.46 | 33.42                 | 23.15 | 31.18 | 42.74                  | 29.65 | 40.15 |
| 1:40                | 17.51                | 20.56 | 22.25 | 22.38                 | 27.96 | 29.44 | 30.90                 | 41.64 | 42.54 | 39.26                 | 52.66 | 54.72 | 47.46                  | 55.54 | 62.06 |
| 1:45                | 18.12                | 32.73 | 38.57 | 22.90                 | 42.05 | 50.55 | 31.08                 | 56.81 | 65.89 | 39.05                 | 57.65 | 67.09 | 47.46                  | 57.72 | 61.80 |
| 1:50                | 17.82                | 33.83 | 40.88 | 22.30                 | 41.27 | 50.41 | 29.86                 | 54.28 | 66.24 | 37.09                 | 57.77 | 67.02 | 45.63                  | 57.78 | 66.52 |
| 1:55                | 17.20                | 31.54 | 38.55 | 21.35                 | 38.28 | 46.87 | 28.22                 | 49.80 | 61.46 | 34.66                 | 57.78 | 66.63 | 42.44                  | 57.78 | 67.36 |
| 2:00                | 16.46                | 29.82 | 36.21 | 20.26                 | 36.27 | 44.03 | 26.48                 | 45.83 | 56.33 | 32.23                 | 54.78 | 66.27 | 39.09                  | 57.78 | 66.91 |
| 2:05                | 15.66                | 28.76 | 34.60 | 19.14                 | 34.38 | 41.59 | 24.77                 | 42.33 | 52.33 | 29.91                 | 49.57 | 61.28 | 35.92                  | 57.92 | 66.50 |
| 2:10                | 14.87                | 27.50 | 33.02 | 18.05                 | 32.34 | 39.04 | 23.16                 | 39.25 | 47.77 | 27.76                 | 45.39 | 55.74 | 33.09                  | 52.68 | 64.93 |
| 2:15                | 14.10                | 26.13 | 31.32 | 17.01                 | 30.43 | 36.63 | 21.65                 | 36.54 | 44.30 | 25.79                 | 41.96 | 51.45 | 30.57                  | 48.32 | 59.48 |
| 2:20                | 13.37                | 24.77 | 29.62 | 16.04                 | 28.73 | 34.45 | 20.26                 | 34.22 | 41.33 | 24.02                 | 39.09 | 47.41 | 28.31                  | 44.67 | 54.58 |
| 2:25                | 12.68                | 23.47 | 28.02 | 15.13                 | 27.22 | 32.52 | 18.99                 | 32.19 | 38.73 | 22.41                 | 36.62 | 44.24 | 26.30                  | 41.66 | 50.67 |
| 2:30                | 12.03                | 22.06 | 26.39 | 14.30                 | 25.84 | 30.78 | 17.85                 | 30.44 | 36.47 | 20.97                 | 34.48 | 41.49 | 24.51                  | 39.07 | 47.17 |
| 2:35                | 11.42                | 20.55 | 24.67 | 13.52                 | 24.55 | 29.17 | 16.79                 | 28.91 | 34.51 | 19.66                 | 32.60 | 39.08 | 22.91                  | 36.81 | 44.28 |
| 2:40                | 10.86                | 19.16 | 23.02 | 12.81                 | 23.34 | 27.68 | 15.84                 | 27.54 | 32.76 | 18.49                 | 30.95 | 36.97 | 21.49                  | 34.82 | 41.75 |
| 2:45                | 10.33                | 17.89 | 21.52 | 12.15                 | 22.22 | 26.29 | 14.97                 | 26.31 | 31.18 | 17.43                 | 29.49 | 35.10 | 20.20                  | 33.06 | 39.52 |
| 2:50                | 9.84                 | 16.85 | 20.21 | 11.55                 | 21.05 | 24.97 | 14.18                 | 25.19 | 29.77 | 16.47                 | 28.18 | 33.44 | 19.05                  | 31.51 | 37.54 |
| 2:55                | 9.39                 | 16.12 | 19.23 | 11.00                 | 19.62 | 23.42 | 13.45                 | 24.18 | 28.48 | 15.60                 | 26.98 | 31.93 | 18.01                  | 30.12 | 35.79 |
| 3:00                | 8.97                 | 15.47 | 18.42 | 10.48                 | 18.23 | 21.83 | 12.78                 | 23.29 | 27.33 | 14.80                 | 25.91 | 30.57 | 17.06                  | 28.88 | 34.21 |
| 3:05                | 8.58                 | 14.76 | 17.59 | 10.01                 | 17.08 | 20.43 | 12.18                 | 22.46 | 26.31 | 14.07                 | 24.93 | 29.34 | 16.21                  | 27.74 | 32.78 |
| 3:10                | 7.84                 | 14.07 | 16.66 | 9.10                  | 16.20 | 19.18 | 10.99                 | 21.57 | 25.07 | 12.62                 | 23.88 | 27.89 | 14.45                  | 26.49 | 31.07 |
| 3:15                | 7.10                 | 13.24 | 15.64 | 8.20                  | 15.10 | 17.88 | 9.83                  | 20.22 | 23.49 | 11.23                 | 22.31 | 26.01 | 12.79                  | 24.52 | 28.77 |
| 3:20                | 6.46                 | 12.23 | 14.46 | 7.42                  | 13.81 | 16.37 | 8.84                  | 18.66 | 21.65 | 10.04                 | 20.53 | 23.88 | 11.37                  | 22.41 | 26.18 |
| 3:25                | 5.89                 | 11.16 | 13.23 | 6.73                  | 12.68 | 14.96 | 7.97                  | 17.07 | 19.80 | 9.02                  | 18.92 | 21.89 | 10.17                  | 20.50 | 23.85 |
| 3:30                | 5.39                 | 10.11 | 12.01 | 6.13                  | 11.67 | 13.72 | 7.22                  | 15.26 | 17.87 | 8.14                  | 17.55 | 20.16 | 9.13                   | 18.84 | 21.79 |
| 3:35                | 4.94                 | 9.16  | 10.88 | 5.60                  | 10.68 | 12.58 | 6.56                  | 13.36 | 15.75 | 7.37                  | 16.36 | 18.69 | 8.23                   | 17.49 | 20.08 |
| 3:40                | 4.54                 | 8.33  | 9.88  | 5.13                  | 9.62  | 11.40 | 5.98                  | 11.88 | 13.96 | 6.69                  | 15.34 | 17.41 | 7.45                   | 16.32 | 18.61 |
| 3:45                | 4.18                 | 7.57  | 8.99  | 4.71                  | 8.66  | 10.27 | 5.47                  | 10.79 | 12.61 | 6.10                  | 14.43 | 16.29 | 6.77                   | 15.30 | 17.34 |
| 3:50                | 3.86                 | 6.91  | 8.20  | 4.33                  | 7.83  | 9.29  | 5.01                  | 9.94  | 11.53 | 5.57                  | 13.58 | 15.30 | 6.17                   | 14.43 | 16.26 |
| 3:55                | 3.57                 | 6.56  | 7.60  | 4.00                  | 7.10  | 8.42  | 4.61                  | 9.15  | 10.63 | 5.10                  | 12.55 | 14.22 | 5.63                   | 13.70 | 15.36 |
| 4:00                | 3.31                 | 6.03  | 7.13  | 3.70                  | 6.54  | 7.71  | 4.24                  | 8.16  | 9.62  | 4.69                  | 11.01 | 12.80 | 5.16                   | 13.05 | 14.53 |
| 4:05                | 3.08                 | 5.55  | 6.56  | 3.42                  | 5.99  | 7.14  | 3.92                  | 7.23  | 8.58  | 4.32                  | 9.74  | 11.29 | 4.74                   | 12.49 | 13.82 |
| 4:10                | 2.87                 | 5.11  | 6.04  | 3.18                  | 5.69  | 6.67  | 3.62                  | 6.44  | 7.66  | 3.98                  | 8.81  | 10.13 | 4.36                   | 11.99 | 13.20 |
| 4:15                | 2.69                 | 5.19  | 5.96  | 2.96                  | 5.67  | 6.30  | 3.36                  | 6.16  | 7.24  | 3.68                  | 8.12  | 9.27  | 4.03                   | 11.54 | 12.65 |
| 4:20                | 2.52                 | 4.76  | 5.58  | 2.77                  | 5.29  | 6.15  | 3.12                  | 5.88  | 6.54  | 3.41                  | 7.47  | 8.58  | 3.72                   | 11.06 | 12.12 |
| 4:25                | 2.36                 | 4.38  | 5.15  | 2.60                  | 4.84  | 5.68  | 2.91                  | 5.63  | 6.53  | 3.17                  | 6.50  | 7.68  | 3.45                   | 11.67 | 12.16 |
| 4:30                | 2.22                 | 4.04  | 4.75  | 2.43                  | 4.45  | 5.23  | 2.72                  | 5.12  | 6.00  | 2.96                  | 5.64  | 6.73  | 3.21                   | 9.64  | 11.08 |
| 4:35                | 2.09                 | 3.73  | 4.40  | 2.29                  | 4.10  | 4.83  | 2.55                  | 4.68  | 5.49  | 2.76                  | 5.28  | 6.12  | 3.00                   | 8.13  | 9.37  |
| 4:40                | 1.97                 | 3.45  | 4.08  | 2.15                  | 3.79  | 4.46  | 2.39                  | 4.30  | 5.05  | 2.59                  | 5.41  | 5.78  | 2.80                   | 7.19  | 8.23  |
| 4:45                | 1.86                 | 3.21  | 3.79  | 2.03                  | 3.51  | 4.14  | 2.25                  | 3.96  | 4.66  | 2.43                  | 4.83  | 5.72  | 2.62                   | 6.70  | 7.54  |
| 4:50                | 1.76                 | 2.99  | 3.53  | 1.92                  | 3.26  | 3.84  | 2.12                  | 3.66  | 4.31  | 2.28                  | 4.31  | 5.08  | 2.46                   | 6.04  | 6.93  |
| 4:55                | 1.67                 | 2.79  | 3.29  | 1.81                  | 3.03  | 3.58  | 2.00                  | 3.39  | 3.99  | 2.15                  | 3.91  | 4.60  | 2.31                   | 5.16  | 6.09  |
| 5:00                | 1.58                 | 2.56  | 3.04  | 1.71                  | 2.83  | 3.34  | 1.89                  | 3.15  | 3.71  | 2.02                  | 3.57  | 4.21  | 2.18                   | 4.58  | 5.29  |

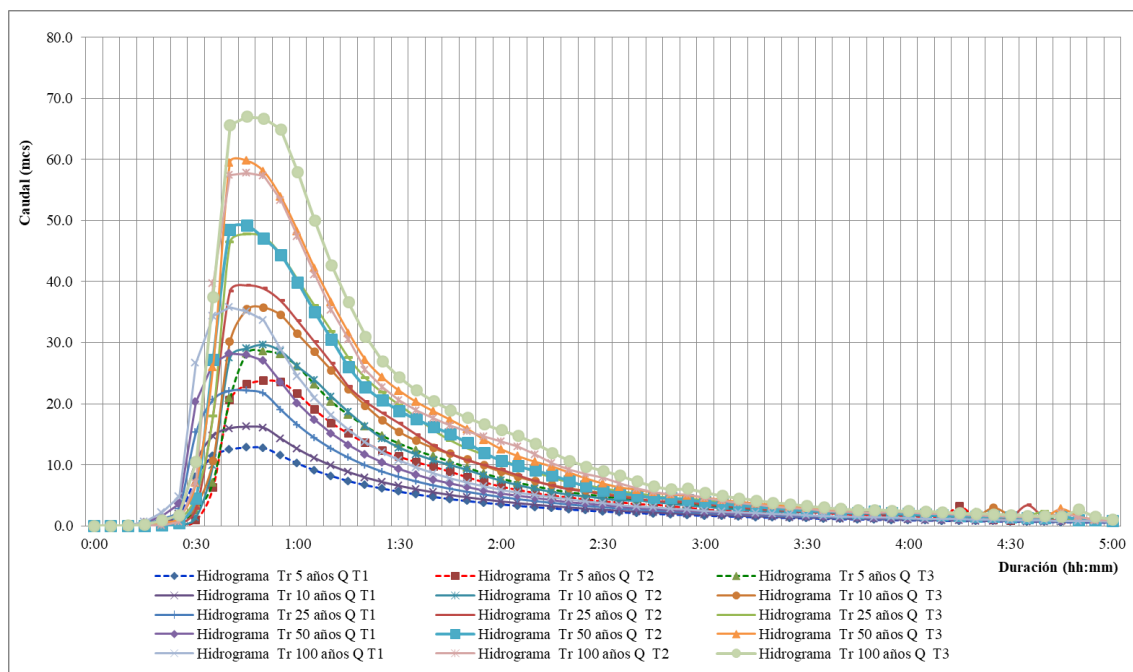


Figura 45. Hidrogramas de crecientes canal calle 44, tramos 1, 2 y 3. Duración 45 min

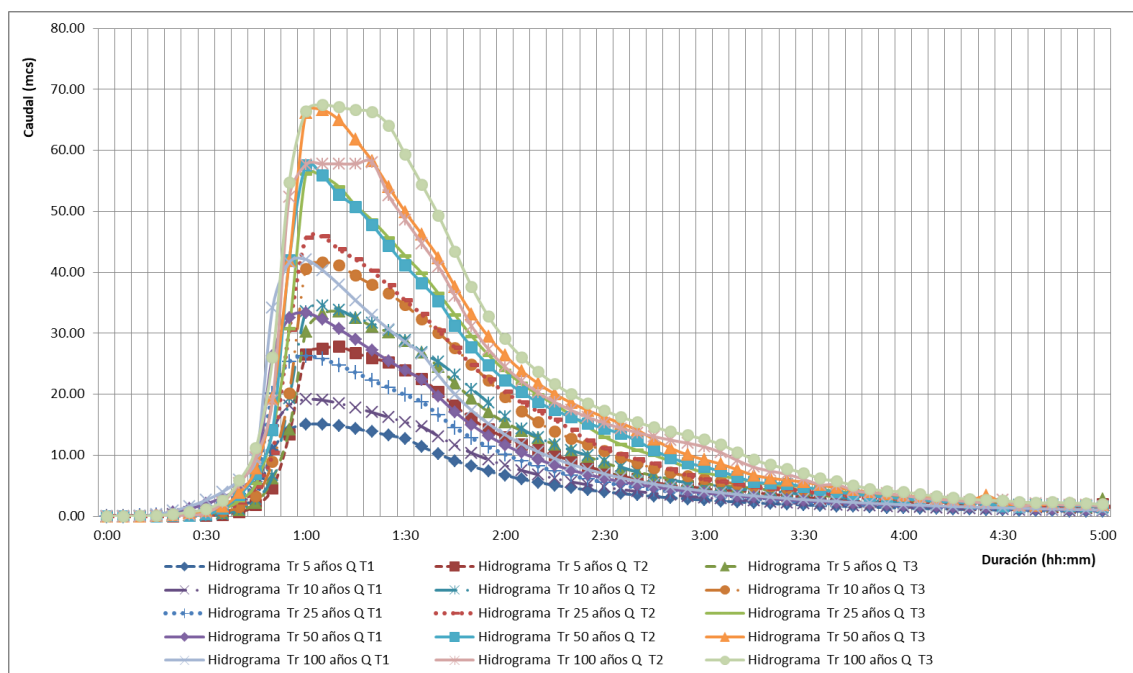


Figura 46. Hidrogramas de crecientes canal calle 44, tramos 1, 2 y 3. Duración 90 min

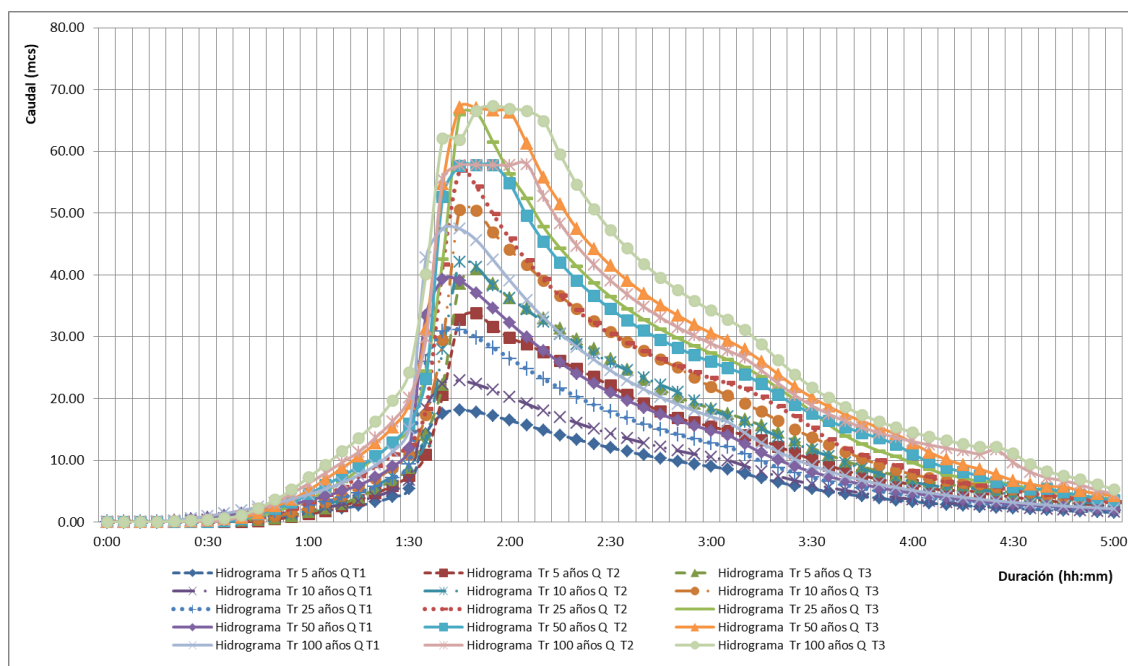
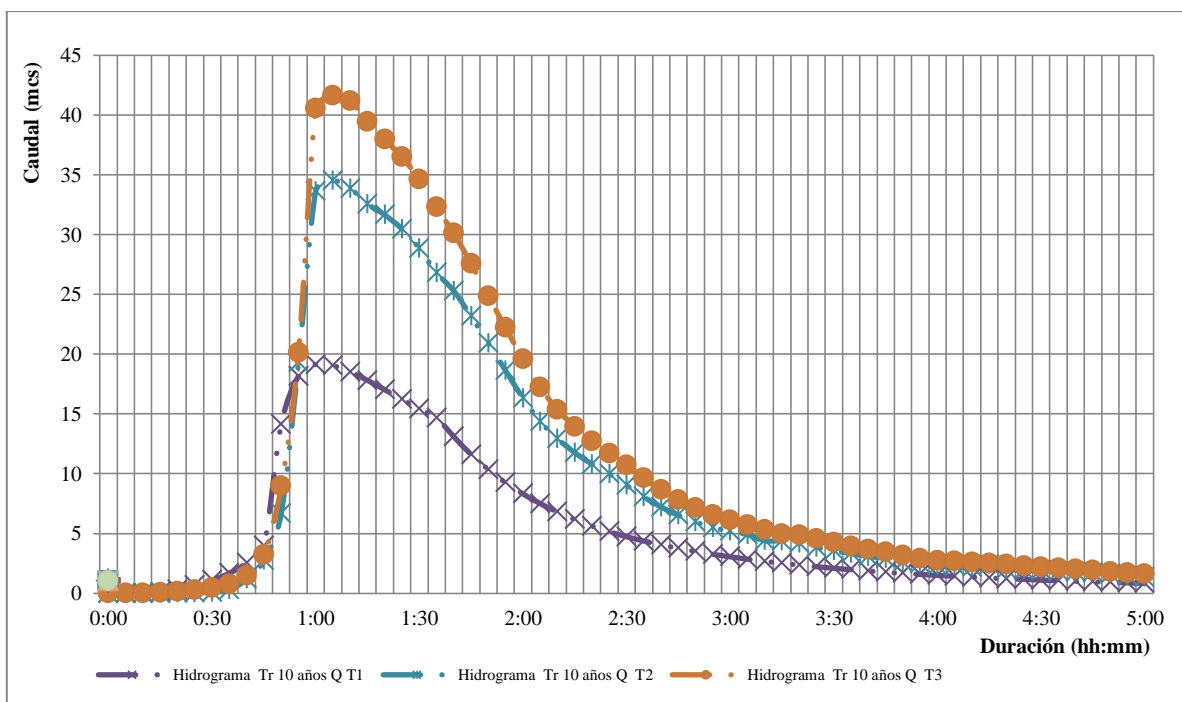
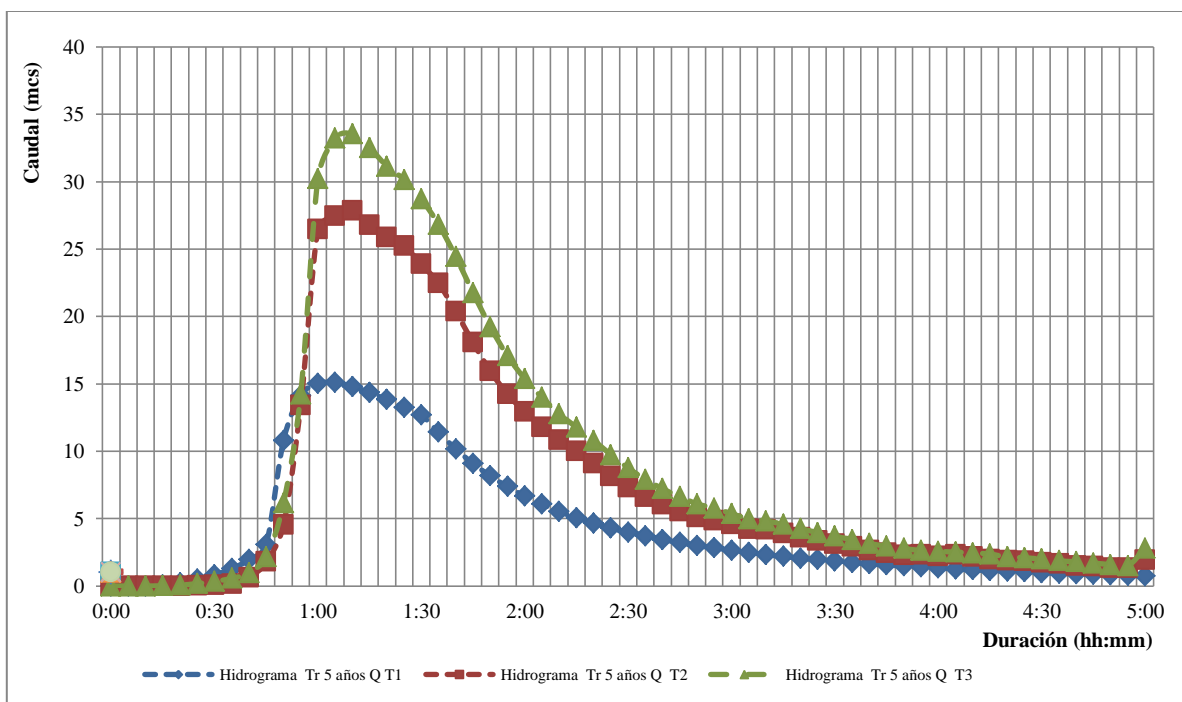


Figura 47. Hidrogramas de crecientes canal calle 44, tramos 1, 2 y 3. Duración 180 min

Los resultados anteriores muestran que el comportamiento de los caudales picos con las diferentes duraciones de tormentas analizadas, son significativamente similares en cada uno de los casos, solo que los picos de los hidrogramas se desplazan en el tiempo; pero conservan similares sus valores máximos. Por lo anterior se infiere que se podría hacer análisis con cualquiera de las duraciones estudiadas.

De acuerdo con lo anterior se considera prudente tomar una duración promedio de 90 minutos para determinar los volúmenes de escurrimiento final y los caudales de excesos que se almacenaría mediante taques.

Las Figuras 48 a 55 muestran los hidrogramas para cada uno de los periodos de retorno, en cada uno de los tramos de canal de la calle 44 analizados y con la duración promedio de la tormenta antes seleccionada.



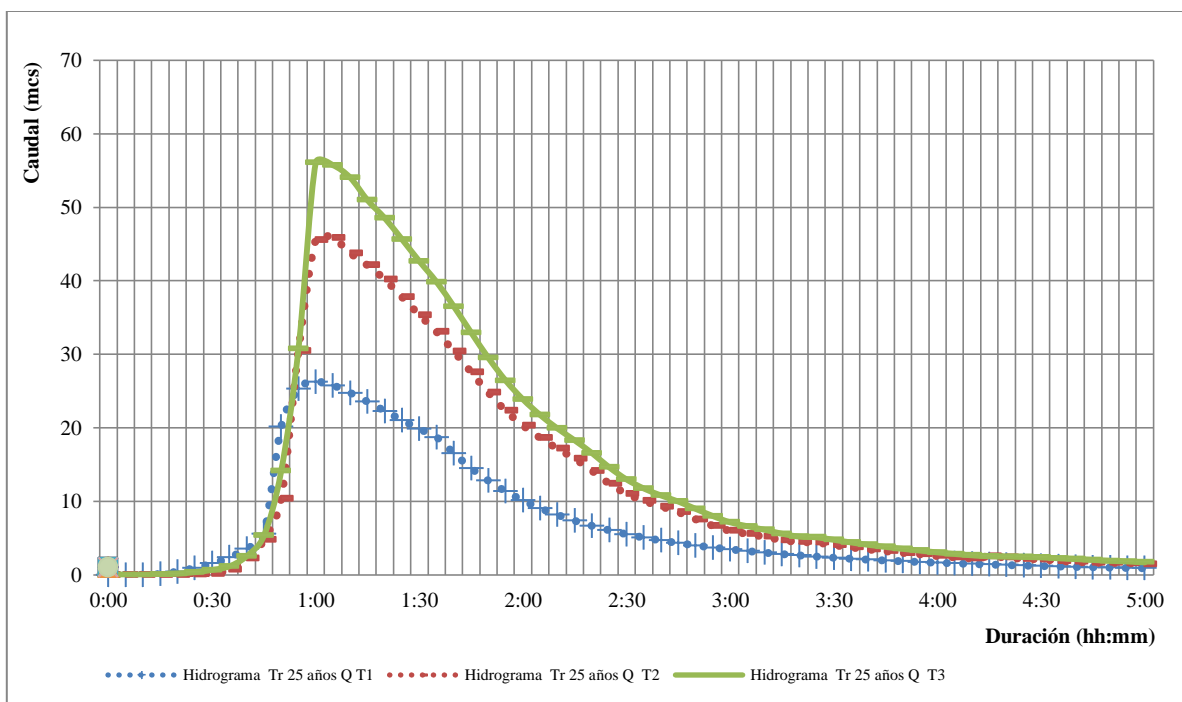


Figura 50. Hidrograma de crecientes Tr 25 años, tramos 1, 2 y 3 canal calle 44

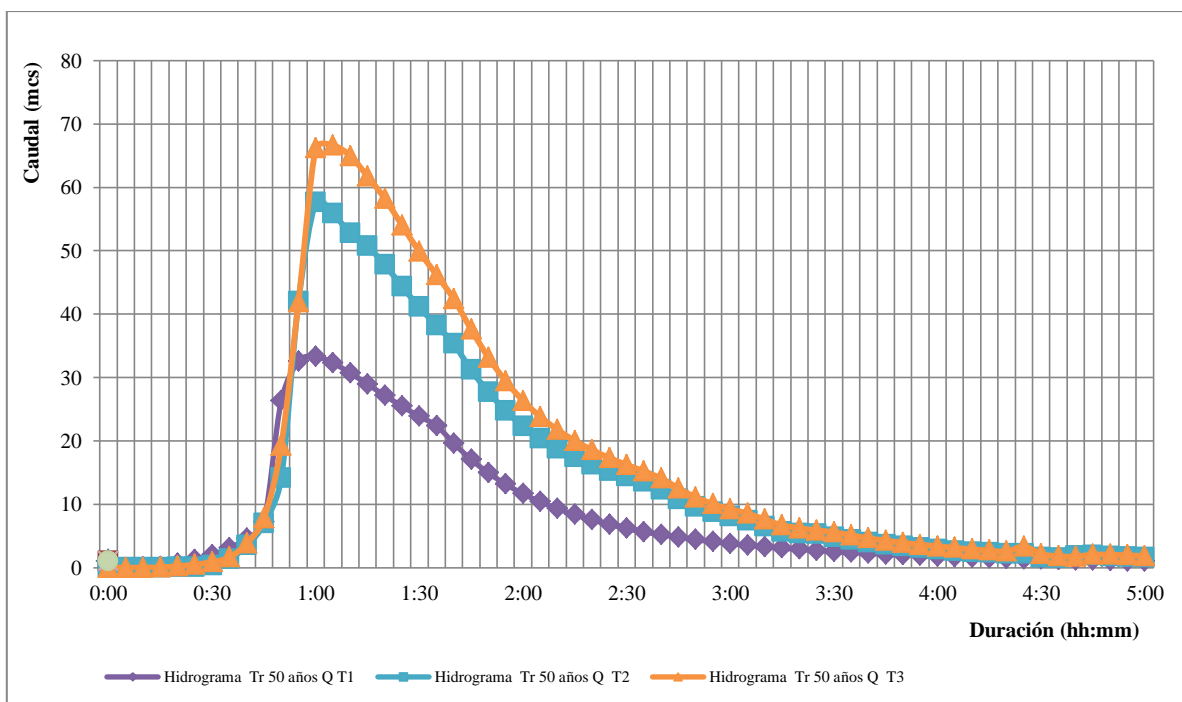
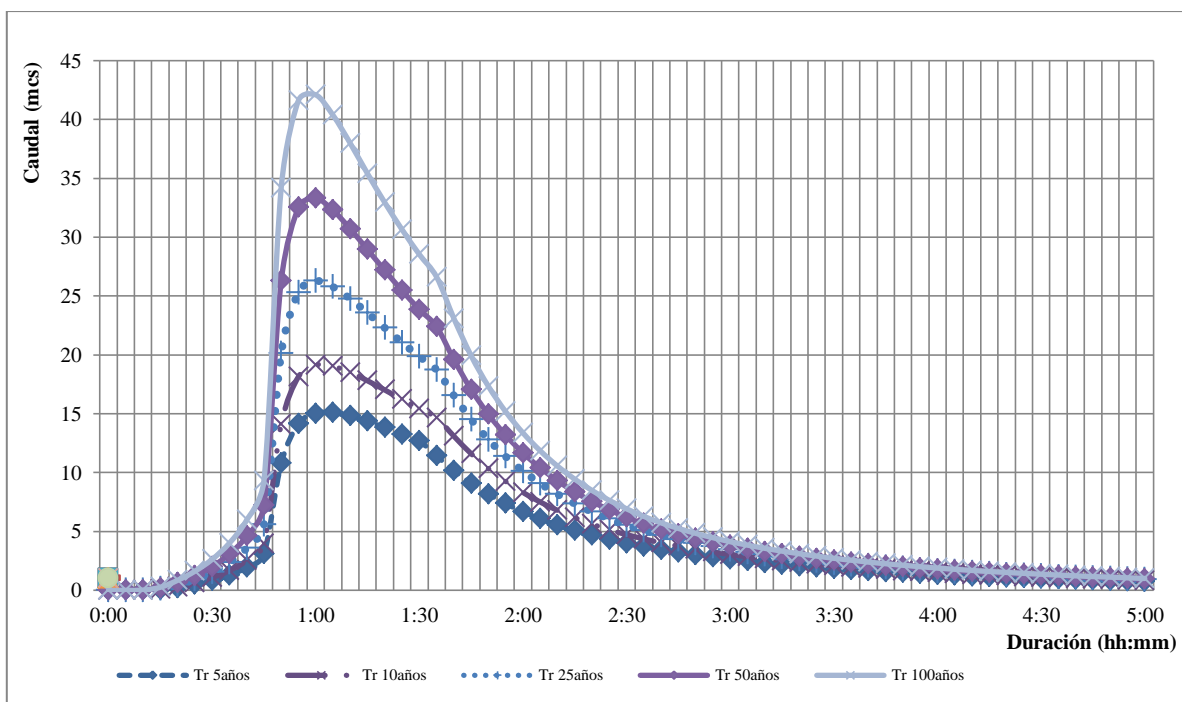
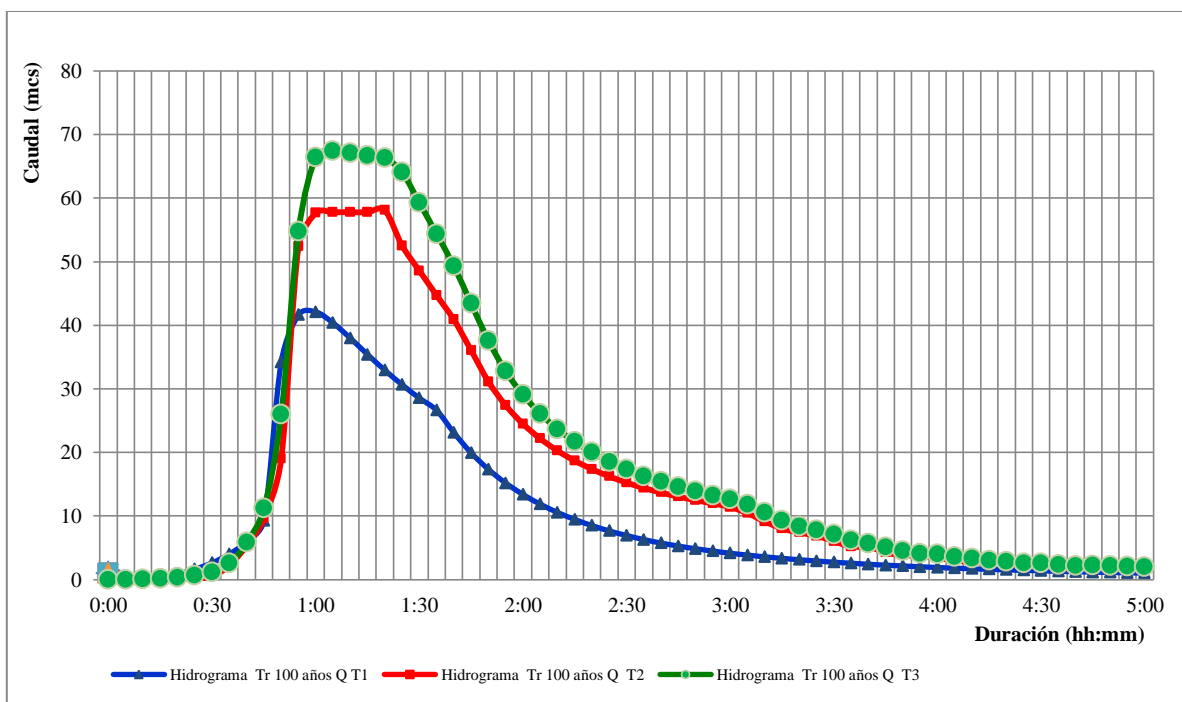


Figura 51. Hidrograma de crecientes Tr 50 años, tramos 1, 2 y 3 canal calle 44



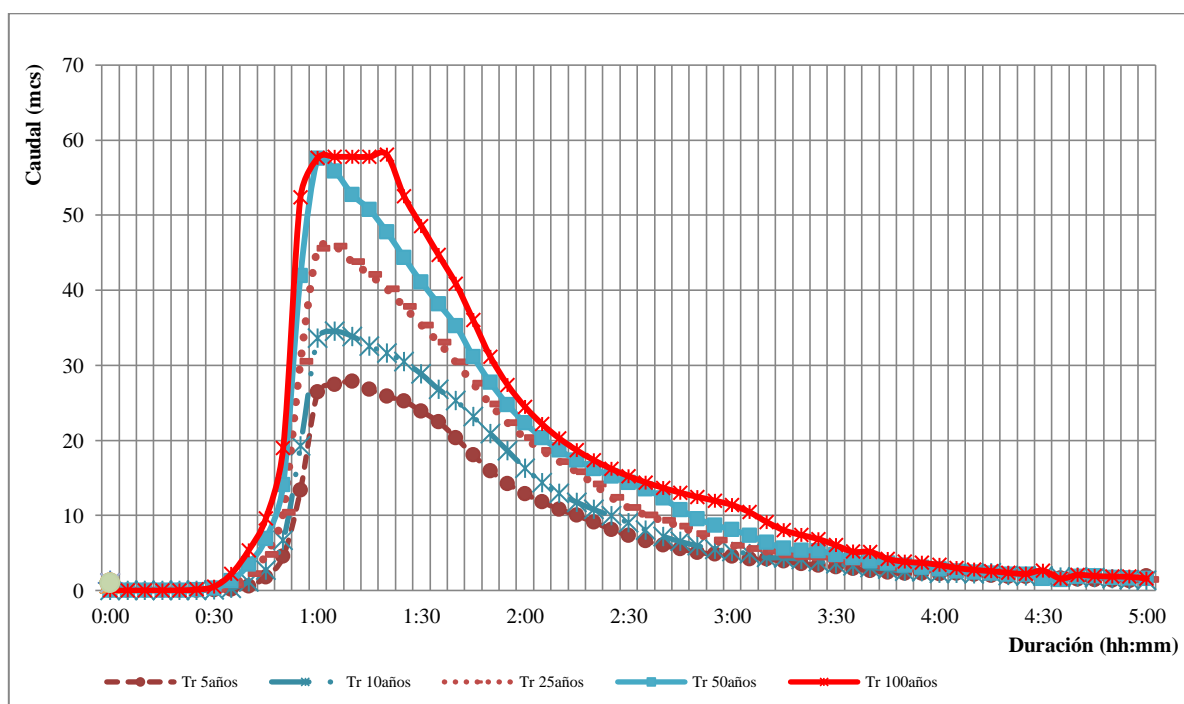


Figura 54. Hidrograma de crecientes tramos 2 (T2)

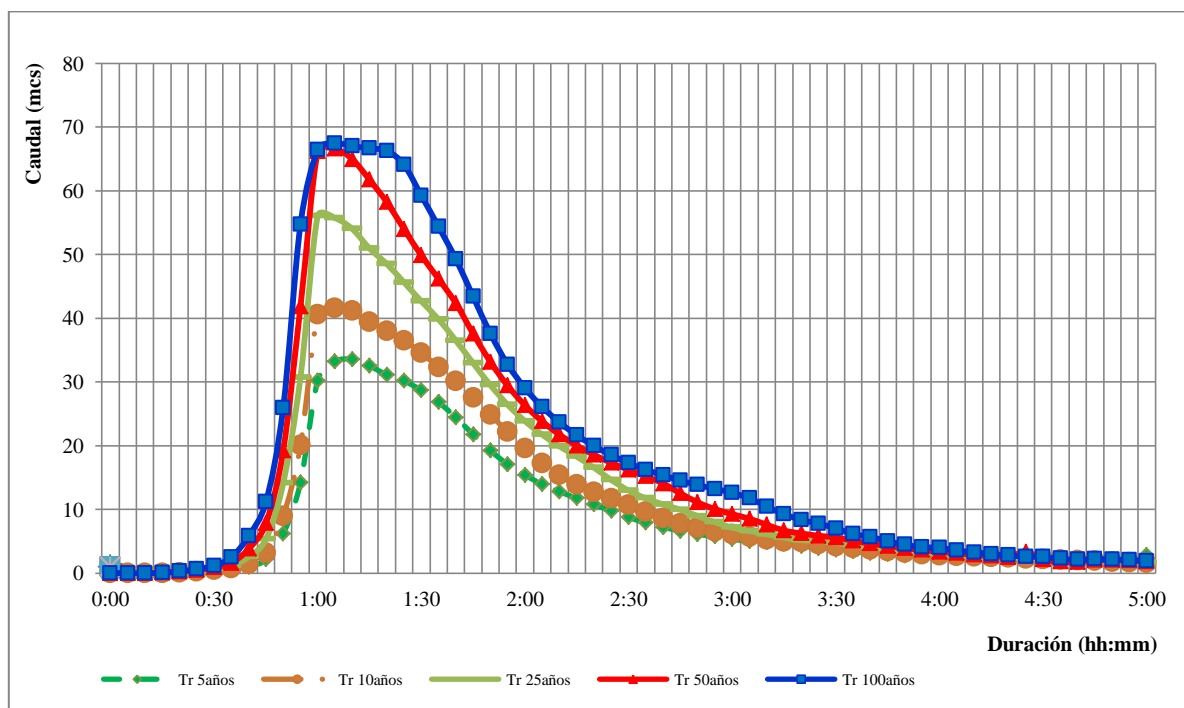


Figura 55. Hidrograma de crecientes tramos 3 (T3)

Los resultados presentados en la Tabla 56 (para duración de 90 minutos) y Figuras 48 a 52 muestran los hidrogramas de crecientes para períodos de retorno entre 5 y 100 años, en los tres tramos del canal de la calle 44 que influyen directamente en el comportamiento hidráulico de sus área vecinas, encontrándose valores máximos de caudales entre los 17.51 y 47.46 m<sup>3</sup>/s en el tramo 1 y de 35.77 a 67.45 m<sup>3</sup>/s en el tramo 3, para periodos de retorno de 5 y 100 años respectivamente. Las Figuras 53 a 55 anteriores, muestran el comportamiento de los caudales en cada tramo y con cada período de retorno analizado en el modelo.

Los volúmenes de escorrentía se estimaron entre los 88,041 a 197,043 m<sup>3</sup> en el tramo 1 y los 176,754 a 358,587 m<sup>3</sup> en el tramo 3, con periodos de retorno entre 5 y 100 años respectivamente. La Tabla 58 muestra los caudales máximos y los volúmenes de escorrentía en cada uno de los 3 tramos del canal y con los periodos de retorno analizados.

Tabla 58. Caudales máximos y volumen de escurrimiento si tanques

| Variable                     | Tramo | Período de retorno (años) |         |         |         |          |
|------------------------------|-------|---------------------------|---------|---------|---------|----------|
|                              |       | 5 años                    | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años |
| Precipitación máx 24 hr (mm) |       | 124.7                     | 139.1   | 156.0   | 167.9   | 179.1    |
| Caudal pico (m3/s)           | 1     | 17.51                     | 22.15   | 30.13   | 38.02   | 47.46    |
|                              | 2     | 30.00                     | 37.46   | 49.77   | 57.77   | 57.78    |
|                              | 3     | 35.77                     | 44.60   | 66.24   | 66.63   | 67.45    |
| Volumen (m3)                 | 1     | 88,041                    | 108,300 | 137,751 | 165,108 | 197,043  |
|                              | 2     | 148,572                   | 181,908 | 230,949 | 273,156 | 305,847  |
|                              | 3     | 176,754                   | 216,462 | 274,542 | 319,116 | 358,587  |

Si se comparan los valores de rediseño del canal de la calle 44, mostrados en la Tabla 54, con los caudales que aportan las subcuencas al sistema, obtenidos de las modelaciones hidrológicas e hidráulicas en EPA-SWMM, presentados en las Tablas 55 a 57 y resumidas



en la Tabla 58 e hidrogramas anteriores, se encuentra que las capacidades de diseño y transporte de este canal, empiezan a ser superadas por caudales con  $Tr \geq 25$  años, razón por la cual se rebosa y genera los problemas de inundación en sus calles aledañas. Todo ello permitió realizar el diagnóstico de las condiciones actuales de drenaje pluvial de la zona en estudio.

### **7.3 Diagnóstico de las condiciones actuales del drenaje pluvial de la zona de estudio**

Efectivamente, el modelo hidrológico-hidráulico desarrollado en EPA-SWMM, muestra que en las condiciones actuales, los caudales con tiempos de retorno mayores o iguales a 25 años ( $Q_{Tr \geq 25 \text{ años}}$ ) empiezan a generar desborde, represamientos e inundaciones en el canal de la calle 44, que afectan también a sus calles aledañas, situación que se vive con cada fuerte aguacero en ese sector de la ciudad.

#### **7.3.1 Caudales con Tr 5 años.**

Al correr el modelo con período de retorno de 5 años, se encuentra que las calles que presentan problemas de inundación o que en su defecto, los niveles que alcanzan las aguas de lluvia están por encima de sus bordillos (alturas de 0.15 m en esta zona), son entre otras, la calle 30 con láminas entre los 0.15 m en su intercepción con la carrera 6 y los 0.47 m de altura al final en su intersección con la carrera 5, la calle 39 con 0.19 m y la calle 44 con láminas entre los 0.22 m en inmediaciones del barrio Panamá y los 0.56 m al final, en inmediaciones de su entrega al canal de la calle 44. La carrera 5 alcanza los 0.53 m y cuando se intercepta con la calle 30 (después de ahí la carrera en mención continua como un canal natural en tierra), los niveles hacia abajo alcanzan más de los 0.75 m. El canal en el tramo 1, 2 y 3 alcanza alturas de 1.11, 1.23 y 1.29 m respectivamente. La Figura 56

muestra con color cian las láminas entre 0.15 y 0.40 m, color verde láminas de 0.40 a 0.80 m, color amarillo láminas de 0.80 a 1.60 m y color rojo láminas superiores a 1.60 m de altura.

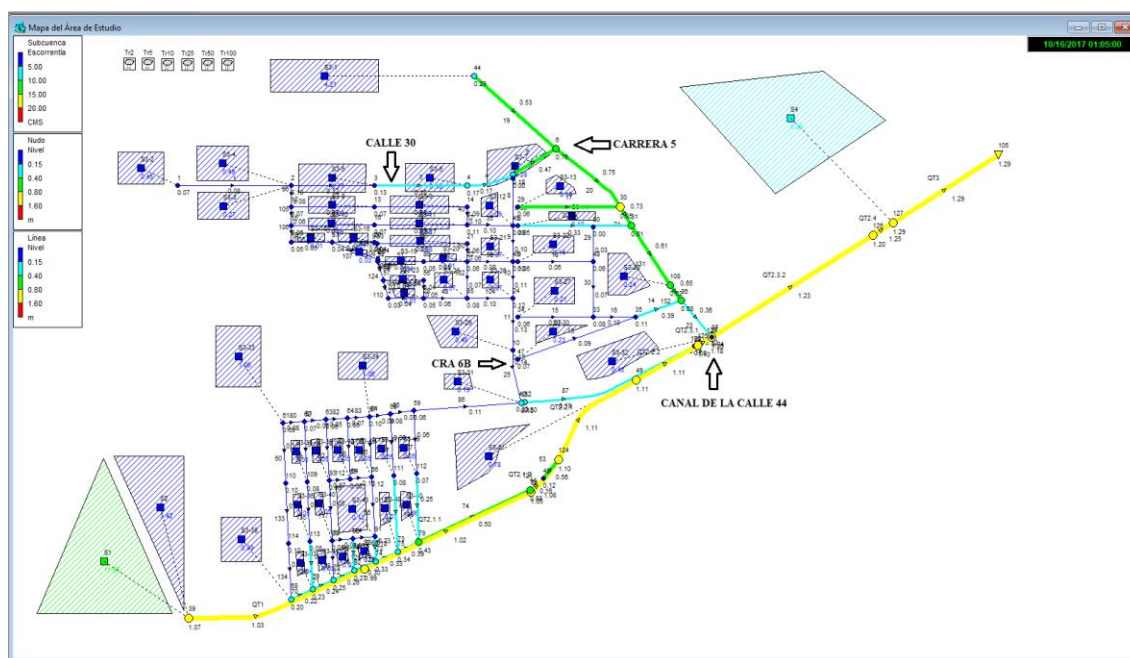


Figura 56. Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 5 años

### 7.3.2 Caudales con Tr 10 años.

Los resultados obtenidos al correr el modelo EPA-SWMM con período de retorno de 10 años, muestran que las calles que presentan problemas de inundación son las mismas mostradas anteriormente; pero con láminas de agua un poco mayor, es así como la calle 30 alcanza láminas de agua de 0.56 m al final en su intersección con la carrera 5, la carrera 6B al final, en su intersección con la calle 39 alcanza los 0.21 m, la calle 39 con 0.19 m y la calle 44 con láminas entre los 0.22 m en inmediaciones del barrio Panamá y los 0.58 m al final, en inmediaciones de su entrega al canal de la calle 44. La carrera 5 alcanza los 0.65 m y cuando se intercepta con la calle 30 los niveles hacia abajo superan los 0.75 m. El canal

en los tramos 1, 2 y 3 alcanza alturas de 1.24, 1.40 y 1.46 m respectivamente. La Figura 57 muestra con color cian las láminas entre 0.15 y 0.40 m, color verde láminas de 0.40 a 0.80 m, color amarillo láminas de 0.80 a 0.160 m y color rojo láminas superiores a 1.60 m de altura.

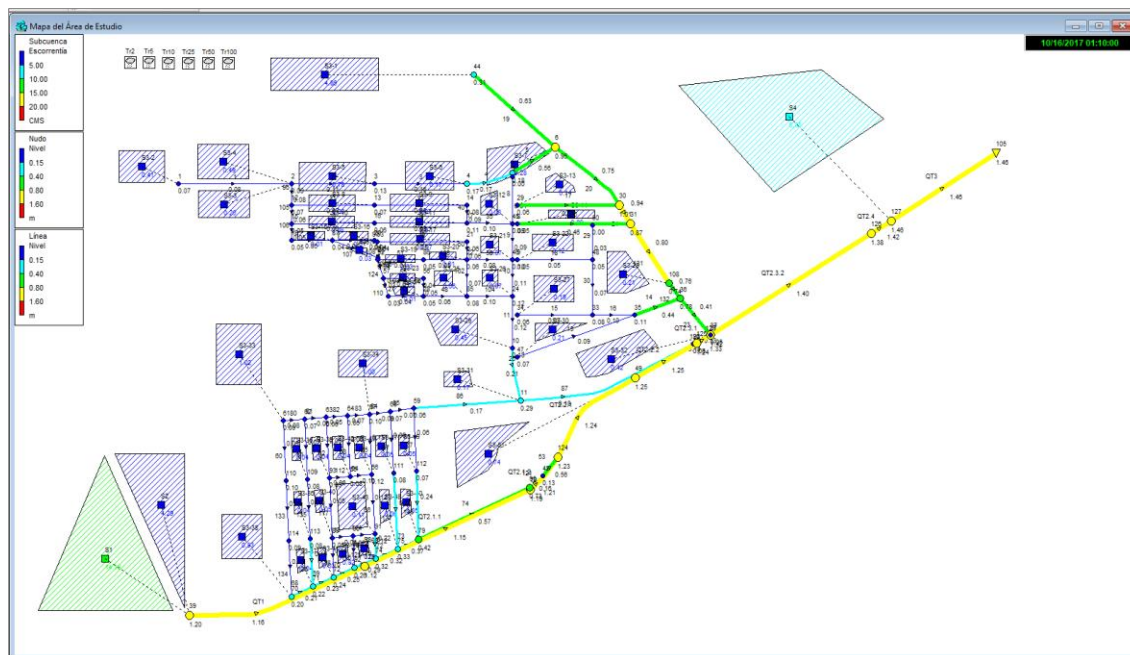


Figura 57. Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 10 años

### 7.3.3 Caudales con Tr 25, 50 y 100 años.

Los resultados obtenidos al correr el modelo EPA-SWMM con períodos de retorno de 25, 50 y 100 años, muestran que a partir de estos caudales, la mayoría de las calles son inundadas con láminas por encima de su bordillo, producto del represamiento que se presenta en el canal de la calle 44, donde las láminas de agua alcanzan alturas por encima de los 2.00 m. La calle 30 alcanza láminas de agua superiores a los 0.73 m al final en su intersección con la carrera 5, la carrera 6B al final, en su intersección con la calle 39, alcanza más de los 0.25 m, la calle 39 más de 0.25 m y la calle 44 con láminas superiores a

los 0.26 m en inmediaciones del barrio Panamá y superior a 0.58 m al final, en inmediaciones de su entrega al canal de la calle 44. La carrera 5 alcanza láminas superiores a los 0.75 m. Las Figura 58, 59 y 60 muestran con color cian las láminas entre 0.15 y 0.40 m, color verde láminas de 0.40 a 0.80 m, color amarillo láminas de 0.80 a 1.60 m y color rojo láminas superiores a 160 cm de altura.

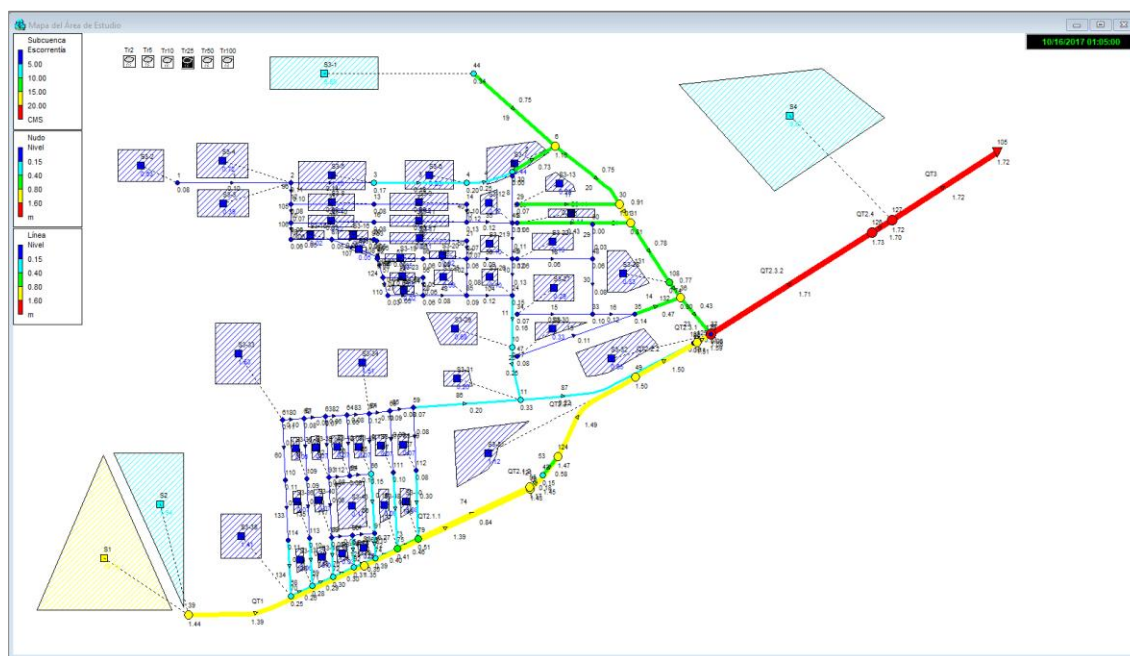


Figura 58. Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 25 años

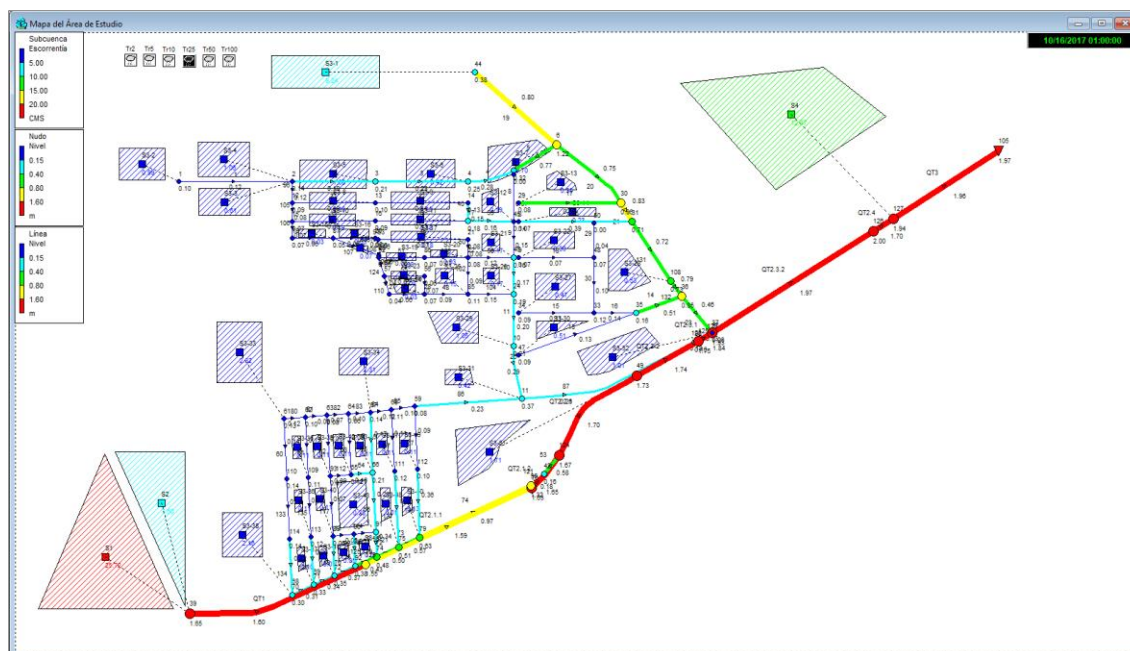


Figura 59. Resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 50 años

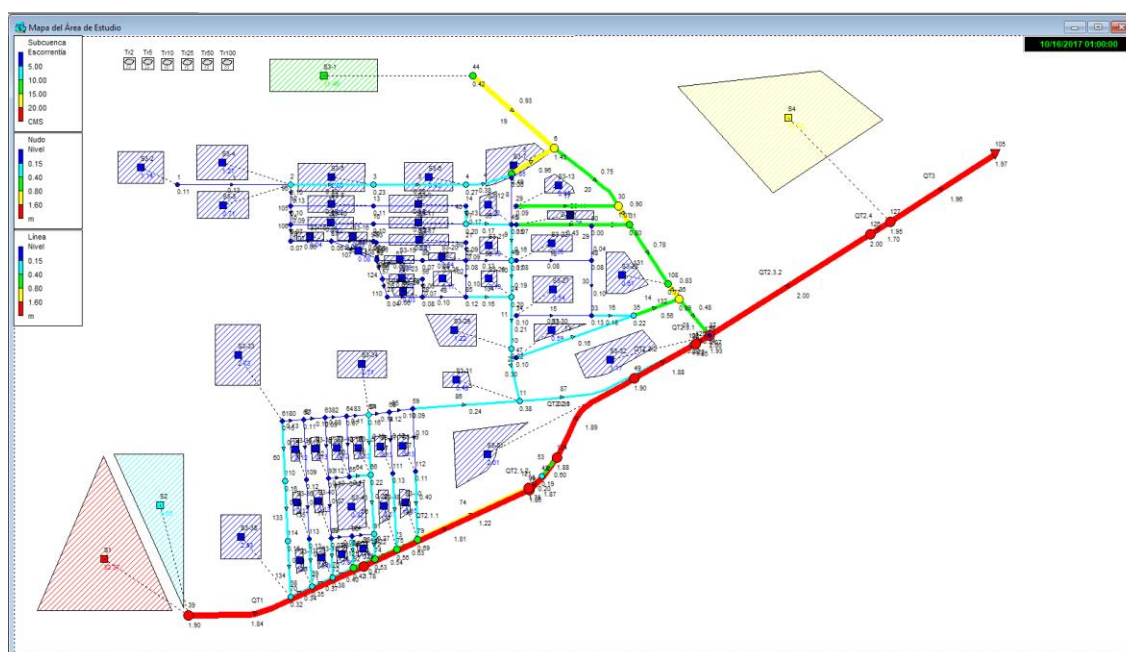


Figura 60. Esquema resultados modelación hidráulica en EPA-SWMM Tr 100 años

#### **7.4 Estrategias de uso de tanques de almacenamiento para mitigar inundaciones**

Para mitigar los riesgos de inundación que presenta la zona en estudio, se debe garantizar disminuir las crecientes que llegan hasta el canal de la calle 44 y con ello garantizar que las obras que se están ejecutando actualmente en el mencionado canal, sirvan para los fines para los cuales se contrataron.

El primer pensamiento como miembro de la comunidad afectada o como ingeniero sin el conocimiento pleno de las nuevas tecnologías de bajo impacto, que permiten mitigar los riesgos de inundaciones en las cuencas hidrográficas urbanas, es el de ampliar aún más el canal de la calle 44 y garantizar así que los caudales que a él llegan, puedan transitar sin problemas, buscando de esta forma una solución cortoplacista y que al final terminará con los mismos problemas de hoy, dado que estos caudales aumentarían progresivamente, en la medida que la ciudad crezca y se impermeabilice aún más. Esta alternativa de gestión de las aguas pluviales centrada principalmente en estos esquemas tradicionales, compuestos por redes de colectores, tuberías o canales que funcionan en su mayoría a flujo libre, no será abordada en este trabajo, como opción para la mitigación de los riesgos de inundación.

En este trabajo de grado se plantea la incorporación de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS), específicamente los tanques de almacenamiento de picos de crecientes, que permitan disminuir los caudales a valores soportables por las obras hidráulicas diseñadas y en etapa de ejecución, para lo cual se hace necesario incluirlos en el modelo hidrológico-hidráulico desarrollado en EPA-SWMM

El propósito de estos tanques es reducir los caudales picos y volúmenes de escorrentía, razón por la cual se evaluaron diferentes escenarios o estrategias de planificación que permitieron alcanzar los objetivos propuestos y se definieron teniendo en

cuenta el tipo de operación de almacenamiento, la capacidad de almacenamiento y la ubicación de los tanques dentro de la cuenca.

El tipo de operación de almacenamiento considerado fue el de tanques que permitieran reducir el flujo máximo con el menor volumen retenido posible, es decir, que el almacenamiento de la escorrentía no se produjera desde el comienzo de la lluvia, sino cuando ésta haya alcanzado ciertos valores por encima de los cuales se generen las inundaciones, en esencia, almacenar los picos de las crecientes.

La capacidad de almacenamiento de los tanques analizados, debe garantizar que los caudales que entren al canal de la calle 44, sean iguales o inferiores a los de su diseño y construcción, para ello se ha considerado tanques que almacenen al menos la diferencia entre el caudal de vertimiento, con tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años y el caudal de diseño del canal, esto permitiría que todo el flujo que llega a esa zona, una vez se hayan almacenado los excesos, escurra sin problemas dentro del mencionado canal y se eviten las inundaciones presentadas y mostradas en el modelo hidráulico desarrollado.

La ubicación de los tanques dentro de la cuenca será en parques, gloriets y zonas públicas en general, de tal forma que una vez construidos, no se perciban, cumplan con los objetivos propuestos y garanticen el normal desarrollo y movilidad de la ciudad. Es importante anotar que estos grandes tanques pueden ser remplazados por un número equivalente de pequeños tanques dentro de la cuenca o incluso más pequeños en cada una de sus viviendas. La corrida del modelo hidrológico-hidráulico se hizo para caudales con períodos de retorno mayores o iguales a 25 años ( $Tr \geq 25$  años), en virtud que caudales menores producen inundaciones no tan drásticas como éstos. Para ello se analizaron dos alternativas.

### 7.4.1 Alternativa 1. Tanque para almacenar picos de las Subcuencas 1 y 2.

Tanque ubicado en la glorieta del terminal de transporte (tanque T1), para almacenar los picos de crecientes de la subcuencas S1 y S2. Con esta alternativa se modeló el sistema y se determinó el comportamiento hidráulico no solo del canal de la calle 44, sino de toda el área en estudio.

La Tabla 59 muestra los caudales con periodos de retorno de 25 a 100 años, que confluyen a la mencionada glorieta, provenientes de las subcuencas S1 y S2 y que ingresan al inicio del canal de la calle 44, igualmente se estiman los volúmenes a almacenar con los mismos períodos de retorno. Esta glorieta tiene un área de unos 9.000 m<sup>2</sup> y se constituye en el sitio ideal para controlar los caudales vertidos por las subcuencas mencionadas.

Tabla 59. Volumen de almacenamiento tanque 1

| Duración<br>(hh:mm)  | Caudales de crecientes tramo 1 (T1) |           |            | Q que pasa<br>(Qdiseño) | caudales a almacenar |           |            | Volumenes a almacenar |           |            |
|----------------------|-------------------------------------|-----------|------------|-------------------------|----------------------|-----------|------------|-----------------------|-----------|------------|
|                      | Tr 25años                           | Tr 50años | Tr 100años |                         | Tr 25años            | Tr 50años | Tr 100años | Tr 25años             | Tr 50años | Tr 100años |
| 0:00                 | 0.00                                | 0.00      | 0.00       | 27.89                   | 0.00                 | 0.00      | 0.00       | 0.00                  | 0.00      | 0.00       |
| 0:35                 | 2.89                                | 3.75      | 4.85       |                         | 0.00                 | 0.00      | 0.00       | 0.00                  | 0.00      | 0.00       |
| 0:40                 | 4.32                                | 5.55      | 7.16       |                         | 0.00                 | 0.00      | 0.00       | 0.00                  | 0.00      | 0.00       |
| 0:45                 | 6.70                                | 8.61      | 11.09      |                         | 0.00                 | 0.00      | 0.00       | 0.00                  | 0.00      | 0.00       |
| 0:50                 | 24.31                               | 31.57     | 40.55      |                         | 0.00                 | 3.68      | 12.66      | 0.00                  | 1103.70   | 3797.70    |
| 0:55                 | 29.80                               | 38.02     | 47.46      |                         | 1.91                 | 10.13     | 19.57      | 572.70                | 3038.70   | 5870.70    |
| 1:00                 | 30.13                               | 37.94     | 47.41      |                         | 2.24                 | 10.05     | 19.52      | 671.70                | 3014.70   | 5855.70    |
| 1:05                 | 28.90                               | 35.91     | 44.24      |                         | 1.01                 | 8.02      | 16.35      | 302.70                | 2405.70   | 4904.70    |
| 1:10                 | 27.21                               | 33.42     | 40.94      |                         | 0.00                 | 5.53      | 13.05      | 0.00                  | 1658.70   | 3914.70    |
| 1:15                 | 25.42                               | 30.92     | 37.49      |                         | 0.00                 | 3.03      | 9.60       | 0.00                  | 908.70    | 2879.70    |
| 1:20                 | 23.67                               | 28.56     | 34.25      |                         | 0.00                 | 0.67      | 6.36       | 0.00                  | 200.70    | 1907.70    |
| 1:25                 | 22.04                               | 26.38     | 31.42      |                         | 0.00                 | 0.00      | 3.53       | 0.00                  | 0.00      | 1058.70    |
| 1:30                 | 20.53                               | 24.42     | 28.91      |                         | 0.00                 | 0.00      | 1.02       | 0.00                  | 0.00      | 305.70     |
| 1:35                 | 19.14                               | 22.66     | 26.68      |                         | 0.00                 | 0.00      | 0.00       | 0.00                  | 0.00      | 0.00       |
| Almacenamiento total |                                     |           |            |                         |                      |           |            | 1547.09               | 12330.88  | 30495.27   |

Con base en lo anterior, los volúmenes a almacenar en la mencionada glorieta (Figura 61), estarían entre los 1547 m<sup>3</sup> para caudales con periodos de retorno de 25 años y un poco más de 30 mil metros cúbicos, para caudales con periodos de retorno de 100 años, teniendo en cuenta la condición interpuesta que al canal le llegue un caudal menor o igual a su



caudal de diseño. Este volumen realmente se determinó por ensayo-error, incluyendo en el modelo hidráulico en EPA-SWMM una curva funcional de la geometría del tanque que permitió llevar los caudales a los valores requeridos.



*Figura 61.* Ubicación del tanque 1- T1

Fuente: Google Earth

Los resultados obtenidos del modelado hidráulico se presentan esquemáticamente en la Figura 62 - 64, donde se muestran las corridas del modelo con periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

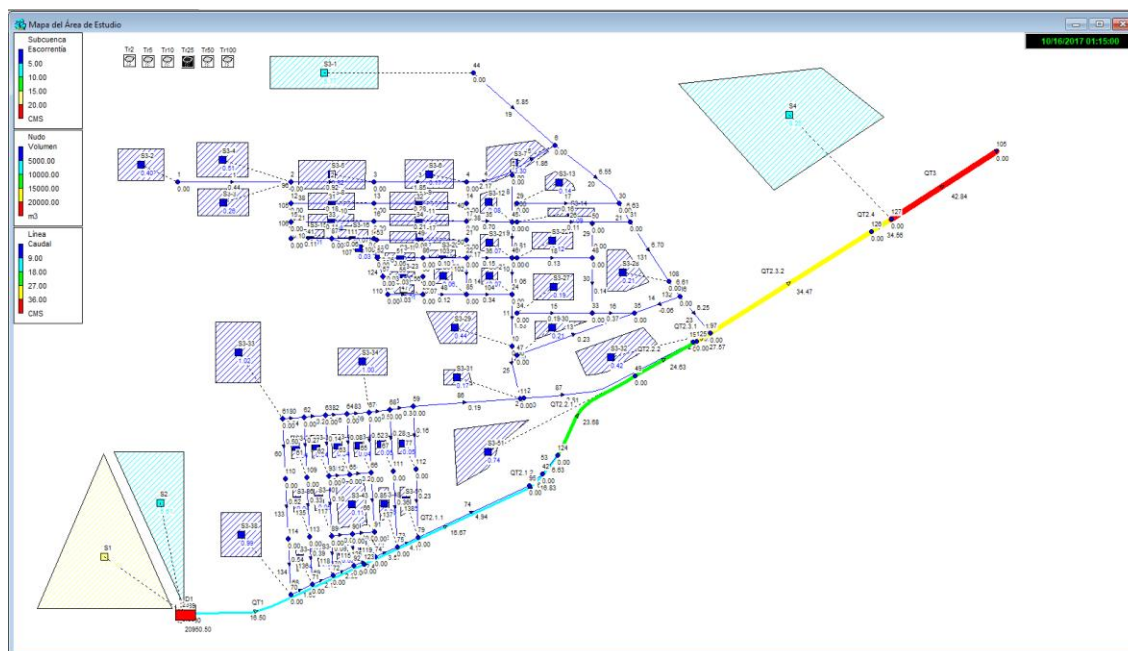


Figura 62. Esquema de resultados con EPA-SWMM, con Tr25 años

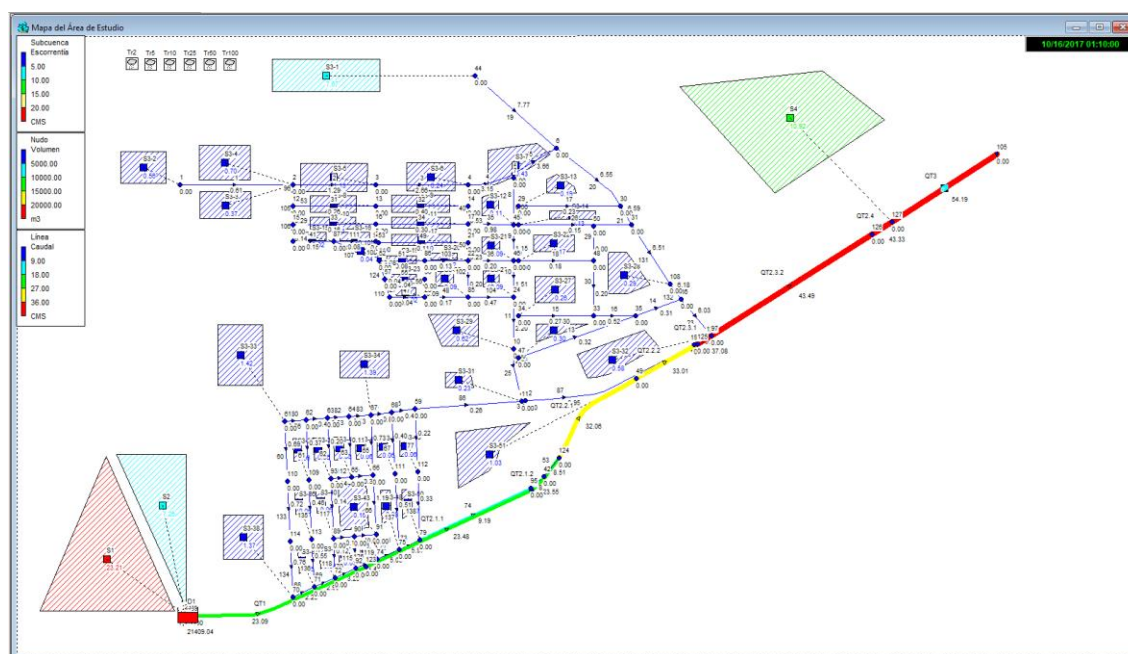


Figura 63. Esquema de resultados con EPA-SWMM, con Tr 50 años

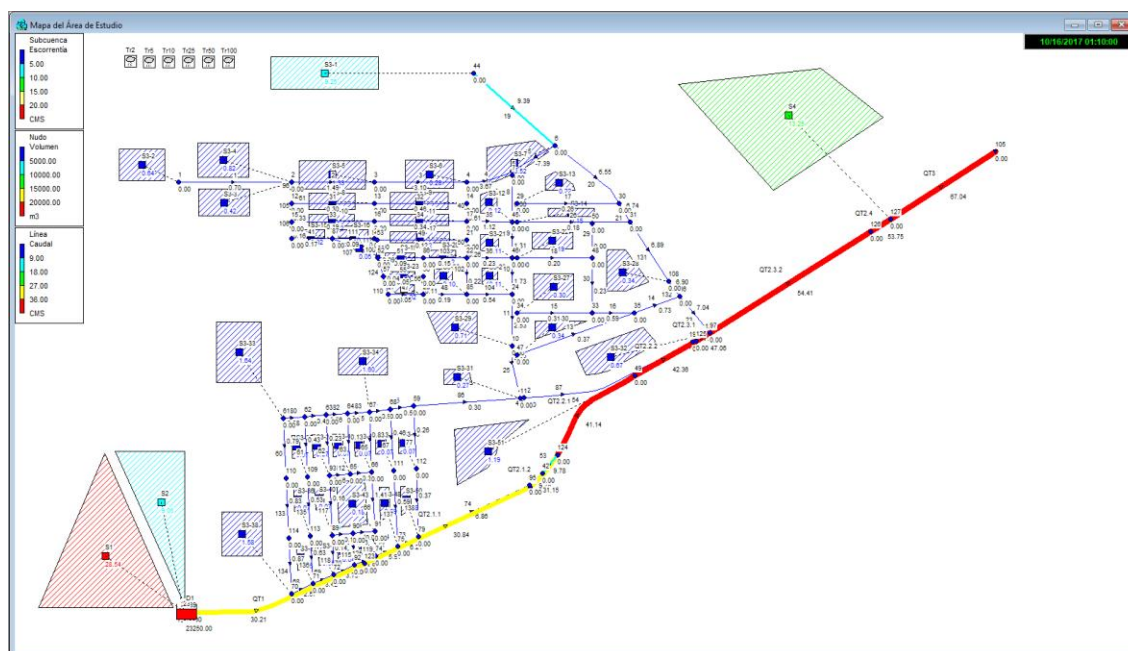


Figura 64. Esquema de resultados con EPA-SWMM, con Tr100 años

La Tabla 56 presentó la línea base de referencia de los caudales generados por las subcuencas S1 y S2 en el tramo1 del canal de la calle 44, simulados sin tanques de almacenamiento, con periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años y duración media de la tormenta de 90 min. La Tabla 60, con la que se construyeron los hidrogramas de las Figuras 65 a 68, presenta estos mismos caudales, más los generados por la cuenca cuando se incorpora el tanque en la glorieta del terminal de transporte, que permitió regular el flujo y llevarlo a valores por debajo de las condiciones de diseño del canal, garantizando que en este tramo, comprendido entre la mencionada glorieta y las carrera 5, no se presenten rebosamientos que generan los posteriores problemas de inundación en gran parte de la zona estudiada.

Tabla 60. Caudales en el tramo 1 con tanque en la glorieta del terminal

| Duración<br>(hh:mm) | Hidrograma Tr 25 años |            | Hidrograma Tr 50 años |            | Hidrograma Tr 100 años |            |
|---------------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|------------------------|------------|
|                     | QT1 Sin D1            | QT1 Con D1 | QT1 Sin D1            | QT1 Con D1 | QT1 Sin D1             | QT1 Con D1 |
| 0:00                | 0.00                  | 0.00       | 0.00                  | 0.00       | 0.00                   | 0.00       |
| 0:05                | 0.00                  | 0.04       | 0.00                  | 0.05       | 0.00                   | 0.07       |
| 0:10                | 0.02                  | 0.02       | 0.02                  | 0.02       | 0.03                   | 0.03       |
| 0:15                | 0.17                  | 0.10       | 0.25                  | 0.11       | 0.35                   | 0.11       |
| 0:20                | 0.59                  | 0.15       | 0.80                  | 0.30       | 1.07                   | 0.36       |
| 0:25                | 1.17                  | 0.24       | 1.53                  | 0.32       | 2.00                   | 1.47       |
| 0:30                | 1.90                  | 1.61       | 2.47                  | 0.43       | 3.21                   | 1.43       |
| 0:35                | 2.89                  | 2.53       | 3.75                  | 1.17       | 4.85                   | 0.15       |
| 0:40                | 4.32                  | 2.78       | 5.55                  | 0.52       | 7.16                   | 2.06       |
| 0:45                | 6.70                  | 3.50       | 8.61                  | 2.92       | 11.09                  | 3.76       |
| 0:50                | 24.31                 | 8.22       | 31.57                 | 10.85      | 40.55                  | 14.25      |
| 0:55                | 29.80                 | 10.85      | 38.02                 | 15.56      | 47.46                  | 22.02      |
| 1:00                | 30.13                 | 13.23      | 37.94                 | 19.09      | 47.41                  | 27.82      |
| 1:05                | 28.90                 | 15.48      | 35.91                 | 22.59      | 44.24                  | 30.90      |
| 1:10                | 27.21                 | 16.92      | 33.42                 | 23.09      | 40.94                  | 30.21      |
| 1:15                | 25.42                 | 16.50      | 30.92                 | 21.89      | 37.49                  | 27.92      |
| 1:20                | 23.67                 | 15.75      | 28.56                 | 20.28      | 34.25                  | 25.68      |
| 1:25                | 22.04                 | 14.86      | 26.38                 | 18.76      | 31.42                  | 23.59      |
| 1:30                | 20.53                 | 13.81      | 24.42                 | 17.34      | 28.91                  | 21.51      |
| 1:35                | 19.14                 | 12.82      | 22.66                 | 16.03      | 26.68                  | 19.78      |
| 1:40                | 16.62                 | 10.95      | 19.49                 | 13.62      | 22.72                  | 16.69      |
| 1:45                | 14.32                 | 9.24       | 16.65                 | 11.40      | 19.24                  | 13.90      |
| 1:50                | 12.44                 | 8.43       | 14.35                 | 9.57       | 16.46                  | 11.63      |
| 1:55                | 10.88                 | 7.81       | 12.46                 | 8.59       | 14.20                  | 9.77       |
| 2:00                | 9.57                  | 7.29       | 10.90                 | 7.95       | 12.35                  | 8.68       |
| 2:05                | 8.47                  | 6.83       | 9.59                  | 7.40       | 10.80                  | 8.02       |
| 2:10                | 7.53                  | 6.44       | 8.48                  | 6.93       | 9.51                   | 7.47       |
| 2:15                | 6.72                  | 6.10       | 7.54                  | 6.53       | 8.42                   | 6.99       |
| 2:20                | 6.03                  | 5.80       | 6.74                  | 6.18       | 7.49                   | 6.58       |
| 2:25                | 5.44                  | 5.54       | 6.05                  | 5.87       | 6.69                   | 6.22       |
| 2:30                | 4.94                  | 5.32       | 5.47                  | 5.60       | 6.01                   | 5.91       |
| 2:35                | 4.51                  | 5.08       | 4.98                  | 5.30       | 5.44                   | 5.64       |
| 2:40                | 4.13                  | 4.78       | 4.54                  | 5.05       | 4.95                   | 5.32       |
| 2:45                | 3.79                  | 4.24       | 4.16                  | 4.75       | 4.52                   | 5.06       |
| 2:50                | 3.50                  | 4.04       | 3.82                  | 4.39       | 4.14                   | 4.85       |
| 2:55                | 3.23                  | 3.92       | 3.52                  | 4.08       | 3.81                   | 4.55       |
| 3:00                | 2.99                  | 3.90       | 3.25                  | 3.95       | 3.51                   | 4.10       |
| 3:05                | 2.77                  | 5.25       | 3.01                  | 3.82       | 3.24                   | 3.97       |
| 3:10                | 2.58                  | 4.55       | 2.80                  | 3.70       | 3.00                   | 3.84       |
| 3:15                | 2.40                  | 4.20       | 2.60                  | 3.62       | 2.79                   | 3.72       |
| 3:20                | 2.24                  | 3.43       | 2.42                  | 5.53       | 2.59                   | 3.59       |
| 3:25                | 2.09                  | 3.11       | 2.26                  | 4.17       | 2.41                   | 3.47       |
| 3:30                | 1.96                  | 2.98       | 2.11                  | 3.71       | 2.25                   | 3.35       |
| 3:35                | 1.83                  | 2.96       | 1.97                  | 3.23       | 2.10                   | 3.22       |
| 3:40                | 1.72                  | 2.76       | 1.85                  | 2.87       | 1.97                   | 4.00       |
| 3:45                | 1.62                  | 2.57       | 1.73                  | 2.63       | 1.84                   | 3.83       |
| 3:50                | 1.52                  | 2.39       | 1.63                  | 2.56       | 1.73                   | 3.08       |
| 3:55                | 1.43                  | 2.23       | 1.53                  | 2.56       | 1.62                   | 2.85       |
| 4:00                | 1.35                  | 2.09       | 1.44                  | 2.38       | 1.53                   | 2.59       |
| 4:05                | 1.27                  | 1.96       | 1.36                  | 2.22       | 1.44                   | 2.36       |
| 4:10                | 1.20                  | 1.84       | 1.28                  | 2.07       | 1.36                   | 2.30       |
| 4:15                | 1.14                  | 1.73       | 1.21                  | 1.93       | 1.28                   | 2.27       |
| 4:20                | 1.08                  | 1.62       | 1.14                  | 1.81       | 1.21                   | 2.10       |
| 4:25                | 1.02                  | 1.53       | 1.08                  | 1.70       | 1.14                   | 1.96       |
| 4:30                | 0.96                  | 1.12       | 1.02                  | 1.60       | 1.08                   | 1.83       |
| 4:35                | 0.92                  | 1.28       | 0.97                  | 1.51       | 1.02                   | 1.71       |
| 4:40                | 0.87                  | 1.06       | 0.92                  | 1.64       | 0.97                   | 1.60       |
| 4:45                | 0.82                  | 1.40       | 0.87                  | 1.07       | 0.92                   | 2.34       |
| 4:50                | 0.78                  | 0.99       | 0.83                  | 1.60       | 0.87                   | 1.24       |
| 4:55                | 0.74                  | 1.07       | 0.79                  | 1.07       | 0.83                   | 1.09       |
| 5:00                | 0.71                  | 0.96       | 0.75                  | 1.06       | 0.79                   | 1.24       |

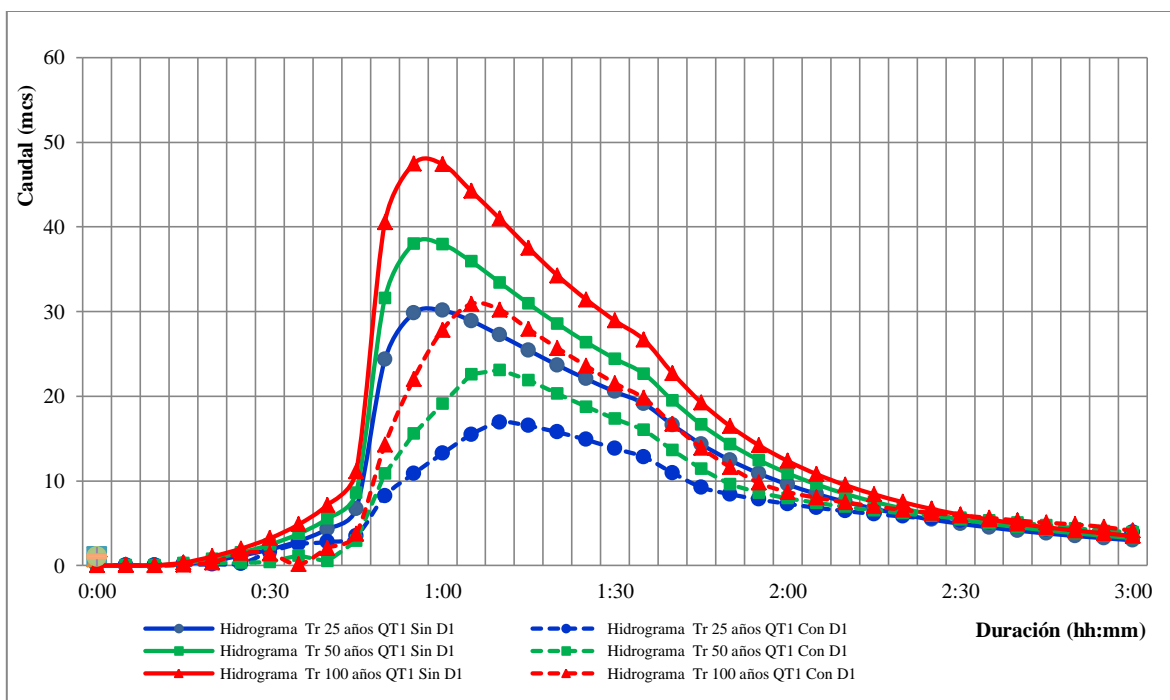


Figura 65. Hidrograma Tr 25 – 100 años. Tramo 1 con y sin tanque

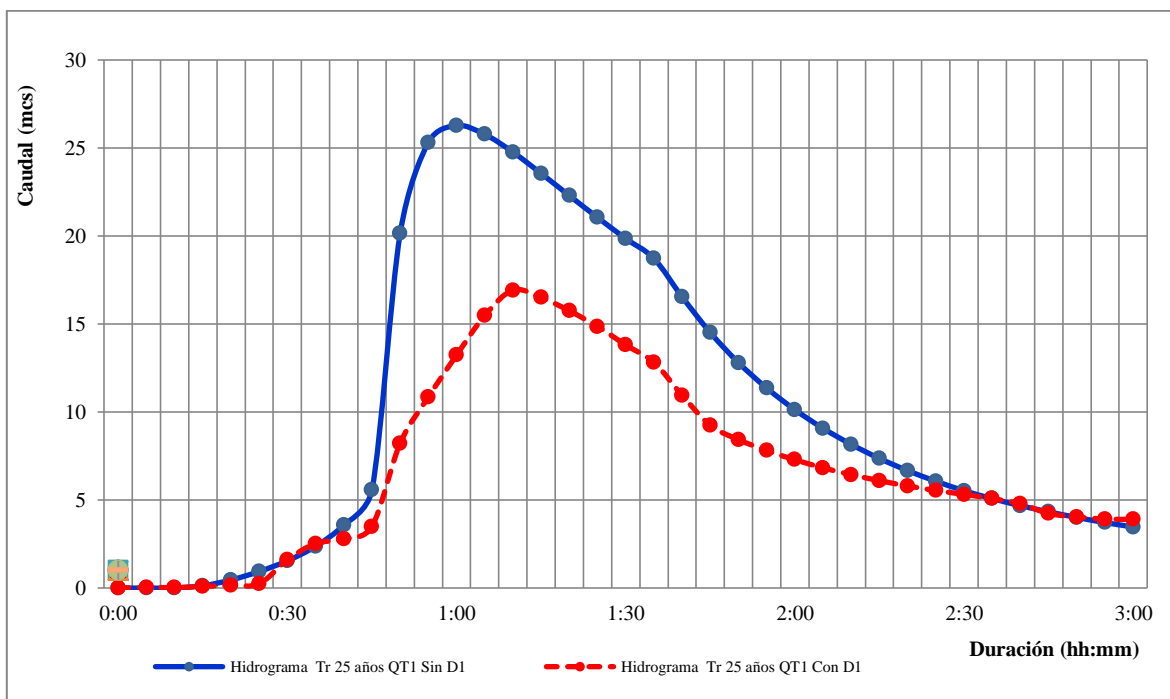
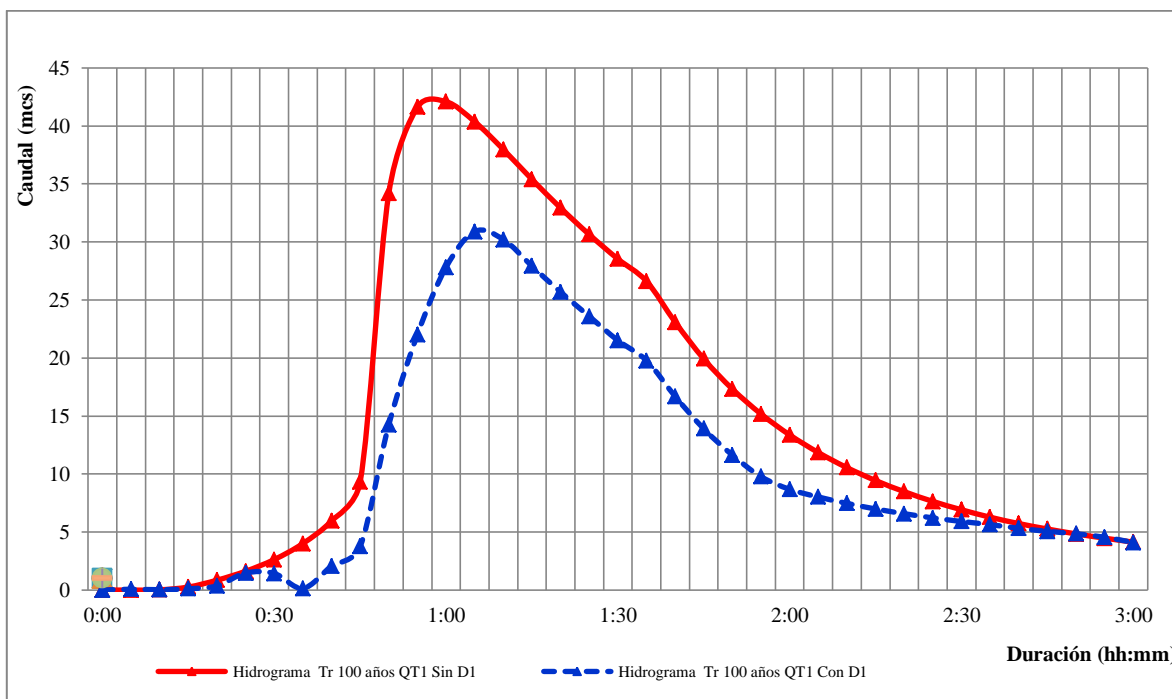
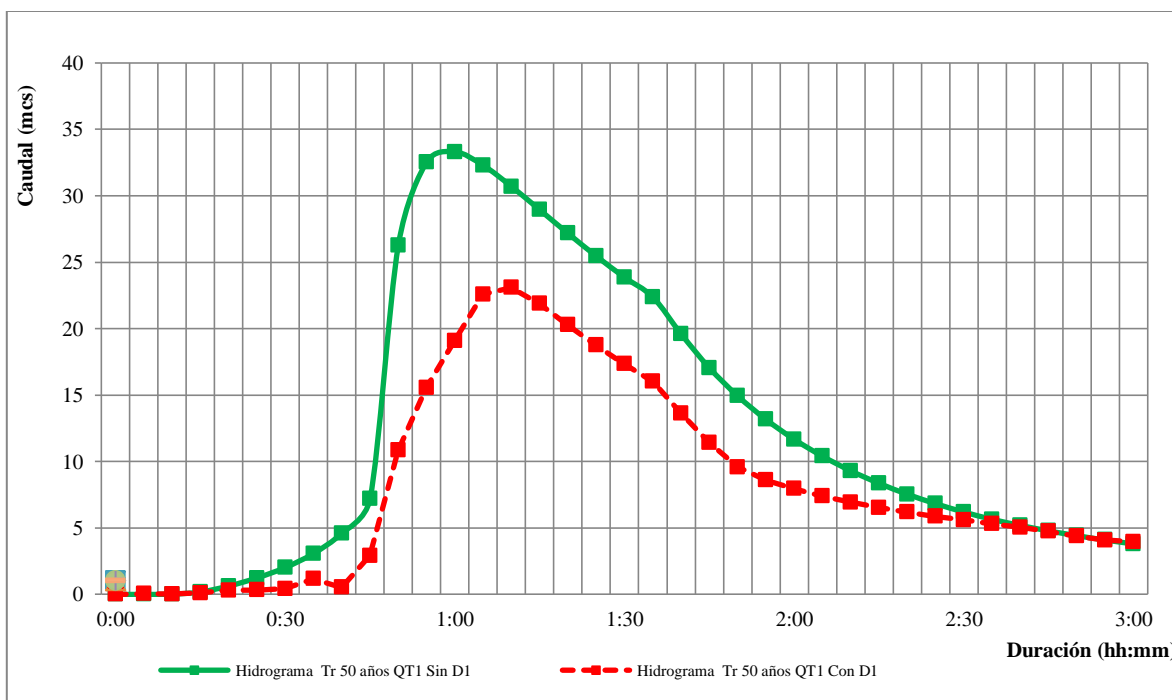


Figura 66. Hidrograma Tr 25 años. Tramo 1 con y sin tanque



Los hidrogramas muestran una notoria disminución de los caudales que llegarían a la glorieta del terminal y entrarían al canal de la calle 44, lógicamente bajo la condición interpuesta de almacenar los valores por encima del caudal de diseño del tramo 1 de este canal. Estos resultados serán analizados en el siguiente capítulo de este documento.

#### **7.4.2 Alternativa 2. Tanque de alternativa 1 más tanques en subcuencas 3 y 4**

Además del tanque de la alternativa 1, tanques ubicados en sitios estratégicos de las subcuencas S3 y S4.

En la subcuenca S3, localizada entre la calle 21 al Norte y la 44 al Sur y entre la carrera 18, calle 28 y carrera 7A al Oeste y carrera 5 al Este, se ubicaron tres tanques de almacenamiento temporal de aguas de lluvias: Tanque 2 (T2) ubicado en la plazoleta de Villa del Rosario, frente del colegio Nuestra Señora de Fátima, del Bienestar Social de la Policía del Cesar, en la calle 28 con carrera 5. Tanque 3 (T3) en el parque de Los Algarrobillos, confluencia de la calle 30 con la carrera 5 y el Tanque 4 (T4) se ubicó en la intersección de la calle 39 con la carrera 6B.

En la subcuenca S4, Localizada entre las carreras 4 y 5 y entre la calle 21 y el canal de la calle 44 (calle 39 en ese sector), se ubicó un solo tanque de almacenamiento, en la confluencia de la carrera 4 con la calle 39, final del tramo2 del canal en mención. Véase Figura 69.

Bajo estas pautas se modeló el sistema, teniendo en cuenta, que al igual que en la alternativa 1, el volumen de los tanques se determinó por ensayo-error, bajo la consideración que el caudal que pasa al canal debe ser igual o menor al de su diseño, ello permitió que el mismo modelo arrojara el volumen máximo de almacenamiento, con la inclusión en éste de una curva funcional de la geometría de los tanques, lo que permitió



además determinar comportamiento hidráulico de calles y canal (Figura 70), encontrándose los resultados mostrados en las Tablas 61 - 63 y las Figuras 71 a 73.

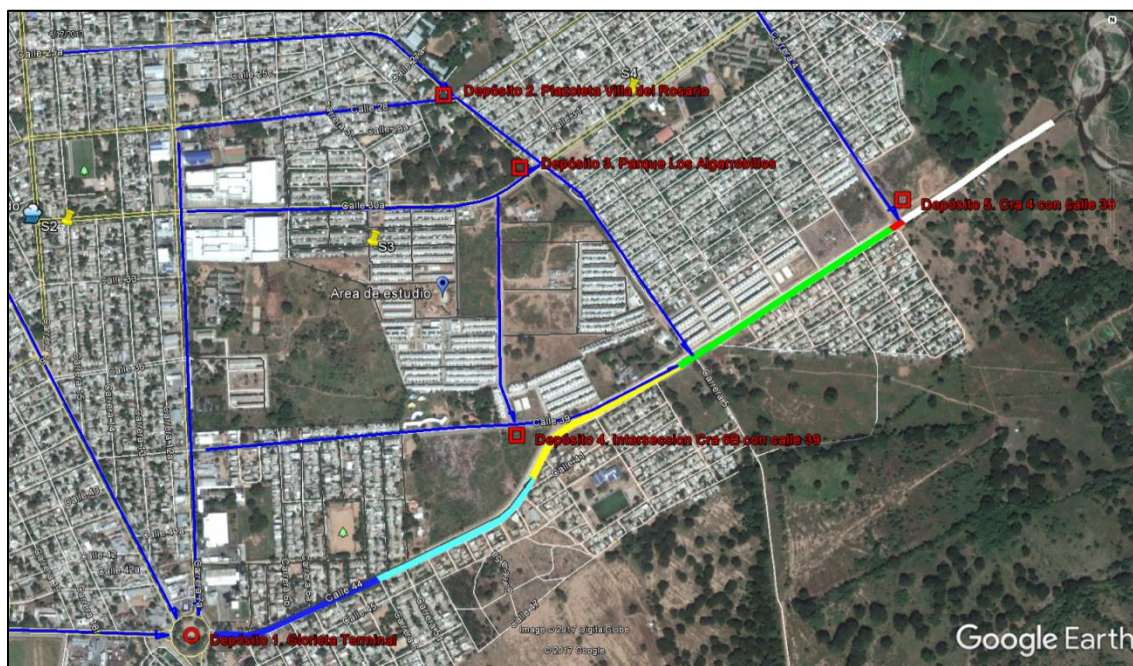


Figura 69. Ubicación de los tanques dentro de la cuenca

Fuente: Google Earth

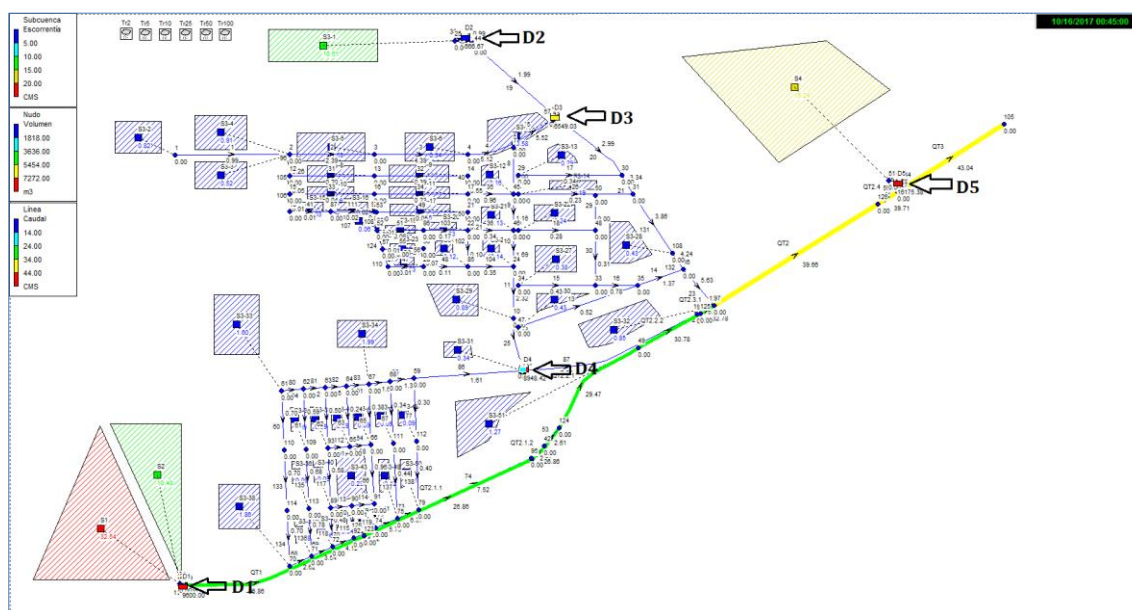


Figura 70. Modelación en EPA-SWMM con tanques dentro de la cuenca



Tabla 61. Caudales con todos los tanques. Tr 25 años

| Duración<br>(hh:mm) | Hidrograma |           |           | Tr 25 años |           |           |
|---------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
|                     | QT1 Sin D  | QT2 Sin D | QT3 Sin D | QT1 Con D  | QT2 Con D | QT3 Con D |
| 0:00                | 0.00       | 0.00      | 0.00      | 0.00       | 0.00      | 0.00      |
| 0:05                | 0.00       | 0.00      | 0.00      | 0.04       | 0.00      | 0.00      |
| 0:10                | 0.02       | 0.00      | 0.00      | 0.02       | 0.00      | 0.00      |
| 0:15                | 0.17       | 0.00      | 0.04      | 0.10       | 0.00      | 0.00      |
| 0:20                | 0.59       | 0.02      | 0.17      | 0.15       | 0.02      | 0.00      |
| 0:25                | 1.17       | 0.06      | 0.37      | 0.24       | 0.07      | 4.49      |
| 0:30                | 1.90       | 0.19      | 0.67      | 1.05       | 0.17      | 2.08      |
| 0:35                | 2.89       | 0.86      | 1.20      | 0.97       | 0.35      | 1.37      |
| 0:40                | 4.32       | 2.66      | 2.85      | 0.85       | 0.84      | 0.97      |
| 0:45                | 6.70       | 5.37      | 5.89      | 1.17       | 3.02      | 1.13      |
| 0:50                | 24.31      | 11.48     | 15.08     | 8.20       | 5.58      | 2.91      |
| 0:55                | 29.80      | 34.89     | 33.25     | 10.88      | 12.61     | 11.64     |
| 1:00                | 30.13      | 49.77     | 60.87     | 13.25      | 23.30     | 24.36     |
| 1:05                | 28.90      | 49.70     | 59.77     | 15.53      | 25.47     | 28.80     |
| 1:10                | 27.21      | 46.81     | 56.84     | 16.93      | 27.01     | 30.97     |
| 1:15                | 25.42      | 44.56     | 53.79     | 16.51      | 27.39     | 33.02     |
| 1:20                | 23.67      | 42.08     | 50.64     | 15.76      | 25.58     | 32.11     |
| 1:25                | 22.04      | 39.21     | 47.17     | 14.86      | 23.56     | 29.18     |
| 1:30                | 20.53      | 36.39     | 43.79     | 13.80      | 21.50     | 27.11     |
| 1:35                | 19.14      | 33.78     | 40.64     | 12.81      | 19.49     | 26.97     |
| 1:40                | 16.62      | 30.84     | 37.03     | 11.17      | 17.24     | 24.69     |
| 1:45                | 14.32      | 27.73     | 33.20     | 9.53       | 15.01     | 21.65     |
| 1:50                | 12.44      | 24.71     | 29.50     | 8.44       | 12.82     | 19.68     |
| 1:55                | 10.88      | 22.08     | 26.24     | 7.81       | 11.12     | 17.31     |
| 2:00                | 9.57       | 19.92     | 23.52     | 7.33       | 9.94      | 15.90     |
| 2:05                | 8.47       | 18.15     | 21.28     | 13.48      | 9.38      | 14.53     |
| 2:10                | 7.53       | 16.63     | 19.39     | 10.96      | 15.35     | 17.28     |
| 2:15                | 6.72       | 15.22     | 17.72     | 9.83       | 12.30     | 17.63     |
| 2:20                | 6.03       | 13.56     | 15.98     | 9.38       | 10.49     | 14.78     |
| 2:25                | 5.44       | 11.79     | 14.03     | 7.19       | 9.97      | 14.23     |
| 2:30                | 4.94       | 10.44     | 12.39     | 6.17       | 8.49      | 12.56     |
| 2:35                | 4.51       | 9.48      | 11.18     | 6.29       | 7.40      | 11.11     |
| 2:40                | 4.13       | 8.75      | 10.24     | 6.03       | 6.93      | 10.08     |
| 2:45                | 3.79       | 8.00      | 9.44      | 5.12       | 6.47      | 9.30      |
| 2:50                | 3.50       | 7.04      | 8.47      | 4.44       | 5.90      | 8.43      |
| 2:55                | 3.23       | 6.19      | 7.50      | 4.00       | 5.27      | 7.59      |
| 3:00                | 2.99       | 5.51      | 6.67      | 4.01       | 4.70      | 6.71      |
| 3:05                | 2.77       | 5.20      | 6.21      | 3.59       | 4.49      | 6.10      |
| 3:10                | 2.58       | 4.73      | 5.71      | 3.38       | 4.23      | 5.64      |
| 3:15                | 2.40       | 4.23      | 5.20      | 3.14       | 3.88      | 5.18      |
| 3:20                | 2.24       | 4.32      | 4.88      | 3.24       | 3.68      | 4.80      |
| 3:25                | 2.09       | 4.00      | 4.75      | 3.03       | 3.57      | 4.50      |
| 3:30                | 1.96       | 3.66      | 4.38      | 2.84       | 3.44      | 4.26      |
| 3:35                | 1.83       | 3.37      | 4.04      | 2.66       | 3.24      | 4.00      |
| 3:40                | 1.72       | 3.10      | 3.72      | 2.49       | 3.04      | 3.82      |
| 3:45                | 1.62       | 2.87      | 3.45      | 2.34       | 2.86      | 3.64      |
| 3:50                | 1.52       | 2.63      | 3.18      | 2.20       | 2.69      | 3.36      |
| 3:55                | 1.43       | 2.43      | 2.90      | 2.07       | 2.53      | 3.13      |
| 4:00                | 1.35       | 2.41      | 2.78      | 1.95       | 2.38      | 3.01      |
| 4:05                | 1.27       | 2.26      | 2.69      | 1.84       | 2.25      | 2.78      |
| 4:10                | 1.20       | 2.25      | 2.55      | 2.17       | 2.14      | 3.11      |
| 4:15                | 1.14       | 2.28      | 2.46      | 1.46       | 2.09      | 3.31      |
| 4:20                | 1.08       | 2.07      | 2.42      | 1.19       | 1.95      | 2.70      |
| 4:25                | 1.02       | 1.89      | 2.29      | 1.61       | 1.84      | 2.27      |
| 4:30                | 0.96       | 1.90      | 2.15      | 1.84       | 1.71      | 2.01      |
| 4:35                | 0.92       | 1.79      | 2.02      | 1.21       | 1.62      | 1.83      |
| 4:40                | 0.87       | 1.71      | 1.91      | 1.76       | 1.59      | 1.70      |
| 4:45                | 0.82       | 1.53      | 1.82      | 1.17       | 1.51      | 1.62      |
| 4:50                | 0.78       | 1.40      | 1.69      | 1.13       | 1.44      | 1.55      |
| 4:55                | 0.74       | 3.03      | 2.14      | 1.09       | 1.39      | 1.52      |
| 5:00                | 0.71       | 1.13      | 2.12      | 1.04       | 1.39      | 2.48      |

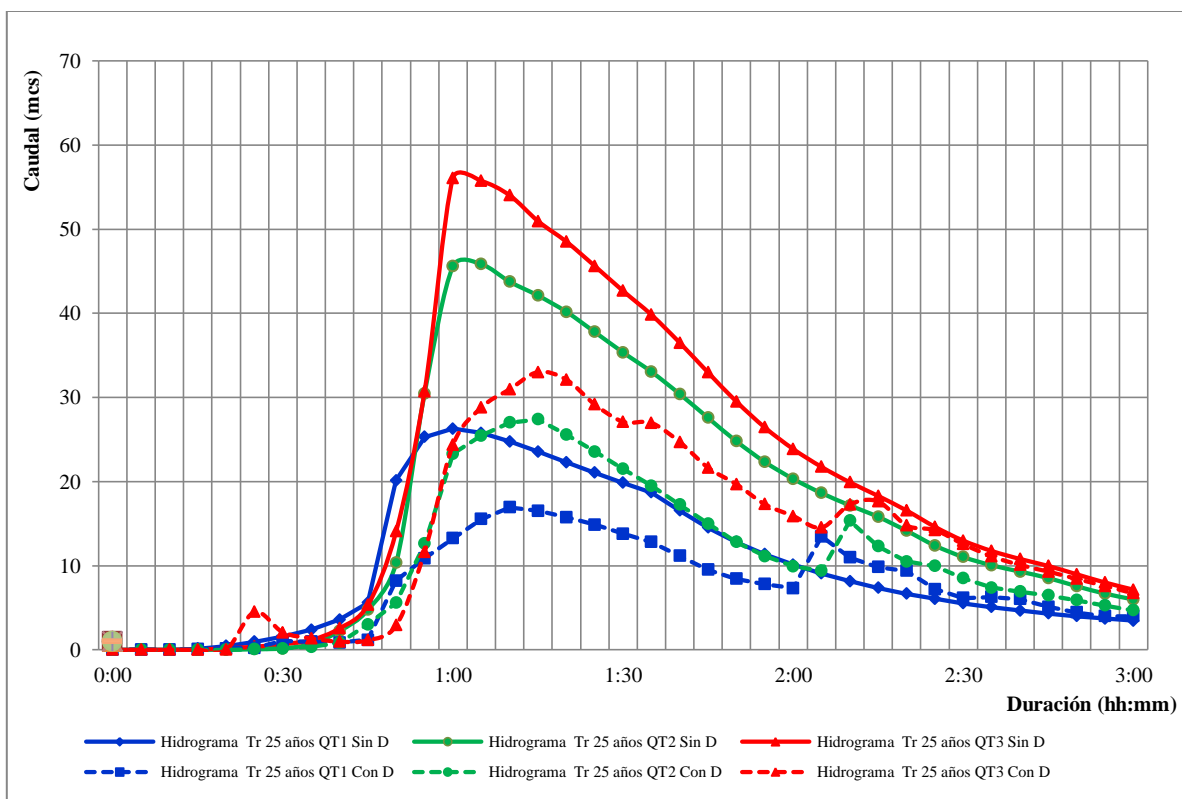
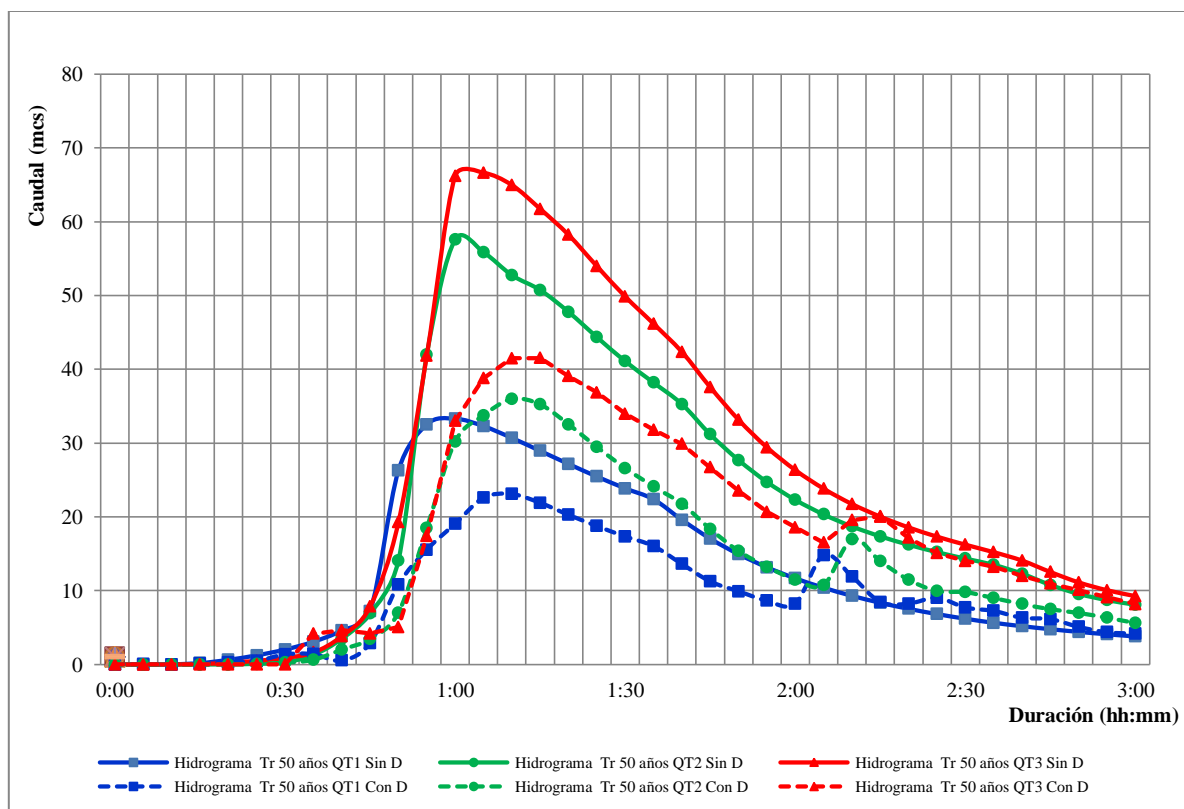


Figura 71. Hidrogramas con y sin tanque. Tr 25 años

Tabla 62. Caudales con todos los tanques. Tr 50 años

| Duración<br>(hh:mm) | Hidrograma |           |           | Tr 50 años |           |           |
|---------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
|                     | QT1 Sin D  | QT2 Sin D | QT3 Sin D | QT1 Con D  | QT2 Con D | QT3 Con D |
| 0:00                | 0.00       | 0.00      | 0.00      | 0.00       | 0.00      | 0.00      |
| 0:05                | 0.00       | 0.00      | 0.00      | 0.05       | 0.00      | 0.00      |
| 0:10                | 0.02       | 0.00      | 0.00      | 0.02       | 0.00      | 0.00      |
| 0:15                | 0.25       | 0.00      | 0.06      | 0.11       | 0.00      | 0.00      |
| 0:20                | 0.80       | 0.02      | 0.23      | 0.30       | 0.02      | 0.00      |
| 0:25                | 1.53       | 0.09      | 0.50      | 0.47       | 0.09      | 0.00      |
| 0:30                | 2.47       | 0.33      | 0.90      | 1.36       | 0.24      | 0.00      |
| 0:35                | 3.75       | 1.60      | 1.76      | 1.40       | 0.64      | 4.16      |
| 0:40                | 5.55       | 4.05      | 4.28      | 0.53       | 2.01      | 4.63      |
| 0:45                | 8.61       | 7.78      | 8.59      | 2.90       | 3.46      | 4.19      |
| 0:50                | 31.57      | 15.50     | 20.56     | 10.83      | 7.01      | 5.08      |
| 0:55                | 38.02      | 47.79     | 45.48     | 15.55      | 18.45     | 17.39     |
| 1:00                | 37.94      | 57.58     | 66.49     | 19.07      | 30.20     | 32.98     |
| 1:05                | 35.91      | 57.77     | 66.63     | 22.58      | 33.75     | 38.76     |
| 1:10                | 33.42      | 57.23     | 66.32     | 23.09      | 35.97     | 41.50     |
| 1:15                | 30.92      | 53.36     | 64.65     | 21.90      | 35.24     | 41.51     |
| 1:20                | 28.56      | 49.83     | 60.49     | 20.28      | 32.54     | 39.07     |
| 1:25                | 26.38      | 45.77     | 55.63     | 18.76      | 29.47     | 36.87     |
| 1:30                | 24.42      | 42.03     | 51.15     | 17.34      | 26.60     | 33.95     |
| 1:35                | 22.66      | 38.78     | 46.86     | 16.04      | 24.12     | 31.81     |
| 1:40                | 19.49      | 35.57     | 42.74     | 13.62      | 21.76     | 29.89     |
| 1:45                | 16.65      | 31.13     | 37.62     | 11.25      | 18.36     | 26.71     |
| 1:50                | 14.35      | 27.41     | 32.93     | 9.92       | 15.37     | 23.53     |
| 1:55                | 12.46      | 24.28     | 29.03     | 8.64       | 13.24     | 20.66     |
| 2:00                | 10.90      | 21.71     | 25.79     | 8.25       | 11.51     | 18.56     |
| 2:05                | 9.59       | 19.64     | 23.17     | 14.82      | 10.76     | 16.51     |
| 2:10                | 8.48       | 17.96     | 21.02     | 11.94      | 16.99     | 19.56     |
| 2:15                | 7.54       | 16.60     | 19.28     | 8.45       | 13.99     | 20.08     |
| 2:20                | 6.74       | 15.45     | 17.81     | 8.25       | 11.48     | 17.15     |
| 2:25                | 6.05       | 14.46     | 16.56     | 9.03       | 9.95      | 15.06     |
| 2:30                | 5.47       | 13.60     | 15.50     | 7.72       | 9.80      | 14.01     |
| 2:35                | 4.98       | 12.75     | 14.50     | 7.25       | 9.00      | 13.22     |
| 2:40                | 4.54       | 11.64     | 13.41     | 6.33       | 8.19      | 11.99     |
| 2:45                | 4.16       | 10.16     | 11.93     | 6.14       | 7.48      | 10.95     |
| 2:50                | 3.82       | 8.96      | 10.51     | 5.10       | 6.98      | 10.07     |
| 2:55                | 3.52       | 8.14      | 9.48      | 4.36       | 6.33      | 9.11      |
| 3:00                | 3.25       | 7.54      | 8.71      | 4.18       | 5.62      | 8.18      |
| 3:05                | 3.01       | 6.83      | 8.02      | 3.99       | 5.13      | 7.28      |
| 3:10                | 2.80       | 5.91      | 7.10      | 3.55       | 4.81      | 6.59      |
| 3:15                | 2.60       | 5.14      | 6.22      | 3.42       | 4.46      | 6.02      |
| 3:20                | 2.42       | 4.91      | 5.72      | 3.53       | 4.17      | 5.51      |
| 3:25                | 2.26       | 5.05      | 5.65      | 3.30       | 4.12      | 5.15      |
| 3:30                | 2.11       | 4.37      | 5.23      | 3.08       | 3.98      | 4.91      |
| 3:35                | 1.97       | 3.92      | 4.69      | 2.89       | 3.75      | 4.63      |
| 3:40                | 1.85       | 3.55      | 4.25      | 2.70       | 3.51      | 4.35      |
| 3:45                | 1.73       | 3.23      | 3.88      | 2.53       | 3.29      | 4.10      |
| 3:50                | 1.63       | 2.96      | 3.56      | 2.37       | 3.10      | 3.82      |
| 3:55                | 1.53       | 2.72      | 3.27      | 2.23       | 2.90      | 3.60      |
| 4:00                | 1.44       | 2.40      | 2.98      | 2.10       | 2.74      | 3.41      |
| 4:05                | 1.36       | 2.23      | 2.73      | 1.98       | 2.60      | 3.24      |
| 4:10                | 1.28       | 2.26      | 2.58      | 1.87       | 2.46      | 3.02      |
| 4:15                | 1.21       | 2.26      | 2.54      | 1.76       | 2.33      | 2.82      |
| 4:20                | 1.14       | 2.04      | 2.38      | 1.67       | 2.20      | 2.77      |
| 4:25                | 1.08       | 2.04      | 2.30      | 1.10       | 2.19      | 3.71      |
| 4:30                | 1.02       | 1.89      | 2.25      | 1.31       | 2.07      | 3.48      |
| 4:35                | 0.97       | 1.84      | 2.12      | 1.62       | 1.96      | 2.80      |
| 4:40                | 0.92       | 1.70      | 1.99      | 1.22       | 1.88      | 2.31      |
| 4:45                | 0.87       | 1.62      | 1.89      | 1.01       | 1.85      | 2.04      |
| 4:50                | 0.83       | 1.55      | 1.77      | 1.05       | 1.69      | 1.88      |
| 4:55                | 0.79       | 1.51      | 1.74      | 0.99       | 1.62      | 1.77      |
| 5:00                | 0.75       | 4.31      | 1.66      | 0.96       | 1.53      | 1.67      |



*Figura 72. Hidrogramas con y sin tanque. Tr 50 años*

Tabla 63. Caudales con todos los tanques. Tr 100 años

| Duración<br>(hh:mm) | Hidrograma |           |           | Tr 100 años |           |           |
|---------------------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
|                     | QT1 Sin D  | QT2 Sin D | QT3 Sin D | QT1 Con D   | QT2 Con D | QT3 Con D |
| 0:00                | 0.00       | 0.00      | 0.00      | 0.00        | 0.00      | 0.00      |
| 0:05                | 0.00       | 0.00      | 0.00      | 0.07        | 0.00      | 0.00      |
| 0:10                | 0.03       | 0.00      | 0.01      | 0.03        | 0.00      | 0.00      |
| 0:15                | 0.35       | 0.00      | 0.09      | 0.11        | 0.01      | 0.00      |
| 0:20                | 1.07       | 0.03      | 0.32      | 0.66        | 0.04      | 0.00      |
| 0:25                | 2.00       | 0.14      | 0.67      | 7.23        | 0.13      | 0.00      |
| 0:30                | 3.21       | 0.63      | 1.19      | 0.36        | 0.42      | 3.38      |
| 0:35                | 4.85       | 2.72      | 2.80      | 0.44        | 1.77      | 2.53      |
| 0:40                | 7.16       | 6.07      | 6.45      | 2.25        | 2.37      | 2.33      |
| 0:45                | 11.09      | 10.79     | 12.20     | 3.77        | 3.83      | 2.95      |
| 0:50                | 40.55      | 20.75     | 27.61     | 14.21       | 10.52     | 9.91      |
| 0:55                | 47.46      | 54.18     | 58.15     | 22.00       | 24.72     | 25.38     |
| 1:00                | 47.41      | 57.68     | 66.79     | 27.80       | 40.63     | 45.28     |
| 1:05                | 44.24      | 57.77     | 67.45     | 30.89       | 44.71     | 51.78     |
| 1:10                | 40.94      | 57.78     | 67.04     | 30.21       | 45.81     | 53.65     |
| 1:15                | 37.49      | 57.78     | 66.65     | 27.92       | 43.24     | 51.91     |
| 1:20                | 34.25      | 57.78     | 66.30     | 25.68       | 40.49     | 48.58     |
| 1:25                | 31.42      | 54.54     | 65.78     | 23.59       | 37.19     | 44.85     |
| 1:30                | 28.91      | 50.28     | 61.03     | 21.51       | 33.98     | 41.25     |
| 1:35                | 26.68      | 45.79     | 55.71     | 19.78       | 30.45     | 37.72     |
| 1:40                | 22.72      | 41.39     | 50.13     | 16.70       | 27.06     | 35.36     |
| 1:45                | 19.24      | 36.00     | 43.50     | 13.90       | 22.98     | 31.72     |
| 1:50                | 16.46      | 30.80     | 37.39     | 11.89       | 18.83     | 27.87     |
| 1:55                | 14.20      | 26.68     | 32.13     | 9.88        | 15.79     | 23.44     |
| 2:00                | 12.35      | 23.64     | 28.26     | 10.60       | 13.37     | 20.97     |
| 2:05                | 10.80      | 21.23     | 25.19     | 17.37       | 12.61     | 19.01     |
| 2:10                | 9.51       | 19.28     | 22.70     | 13.47       | 17.02     | 20.38     |
| 2:15                | 8.42       | 17.71     | 20.68     | 11.26       | 15.89     | 22.32     |
| 2:20                | 7.49       | 16.40     | 19.01     | 8.26        | 13.28     | 19.61     |
| 2:25                | 6.69       | 15.28     | 17.59     | 8.63        | 10.91     | 16.74     |
| 2:30                | 6.01       | 14.33     | 16.39     | 8.39        | 10.24     | 15.09     |
| 2:35                | 5.44       | 13.53     | 15.38     | 7.53        | 10.08     | 14.65     |
| 2:40                | 4.95       | 12.84     | 14.50     | 7.01        | 9.06      | 13.48     |
| 2:45                | 4.52       | 12.26     | 13.76     | 6.60        | 8.30      | 12.35     |
| 2:50                | 4.14       | 11.75     | 13.11     | 5.81        | 7.53      | 11.21     |
| 2:55                | 3.81       | 11.29     | 12.54     | 5.44        | 7.03      | 10.28     |
| 3:00                | 3.51       | 10.75     | 11.96     | 4.51        | 6.45      | 9.43      |
| 3:05                | 3.24       | 9.83      | 11.16     | 4.36        | 5.66      | 8.33      |
| 3:10                | 3.00       | 8.55      | 9.91      | 4.01        | 5.13      | 7.39      |
| 3:15                | 2.79       | 7.51      | 8.71      | 3.59        | 4.87      | 6.72      |
| 3:20                | 2.59       | 6.85      | 7.85      | 3.63        | 4.50      | 6.12      |
| 3:25                | 2.41       | 6.35      | 7.25      | 3.52        | 4.27      | 5.59      |
| 3:30                | 2.25       | 5.56      | 6.57      | 3.29        | 4.21      | 5.24      |
| 3:35                | 2.10       | 4.71      | 5.70      | 3.08        | 4.04      | 4.98      |
| 3:40                | 1.97       | 4.25      | 5.05      | 2.88        | 3.81      | 4.70      |
| 3:45                | 1.84       | 3.96      | 4.65      | 2.70        | 3.57      | 4.43      |
| 3:50                | 1.73       | 3.85      | 4.48      | 2.53        | 3.35      | 4.12      |
| 3:55                | 1.62       | 3.40      | 4.07      | 2.38        | 3.15      | 3.90      |
| 4:00                | 1.53       | 3.03      | 3.65      | 2.23        | 2.96      | 3.65      |
| 4:05                | 1.44       | 2.73      | 3.29      | 2.10        | 2.79      | 3.40      |
| 4:10                | 1.36       | 2.34      | 2.91      | 1.98        | 2.63      | 3.28      |
| 4:15                | 1.28       | 2.22      | 2.63      | 1.87        | 2.48      | 3.02      |
| 4:20                | 1.21       | 2.20      | 2.56      | 1.77        | 2.34      | 2.88      |
| 4:25                | 1.14       | 2.28      | 2.53      | 1.68        | 2.21      | 2.78      |
| 4:30                | 1.08       | 2.19      | 2.47      | 1.38        | 2.19      | 3.75      |
| 4:35                | 1.02       | 1.94      | 2.34      | 2.54        | 2.17      | 3.36      |
| 4:40                | 0.97       | 1.85      | 2.14      | 1.25        | 1.95      | 2.74      |
| 4:45                | 0.92       | 1.67      | 2.01      | 1.64        | 1.91      | 2.31      |
| 4:50                | 0.87       | 1.65      | 1.91      | 1.26        | 1.83      | 2.06      |
| 4:55                | 0.83       | 1.52      | 1.84      | 1.18        | 1.69      | 1.89      |
| 5:00                | 0.79       | 1.40      | 1.70      | 1.42        | 1.68      | 1.76      |

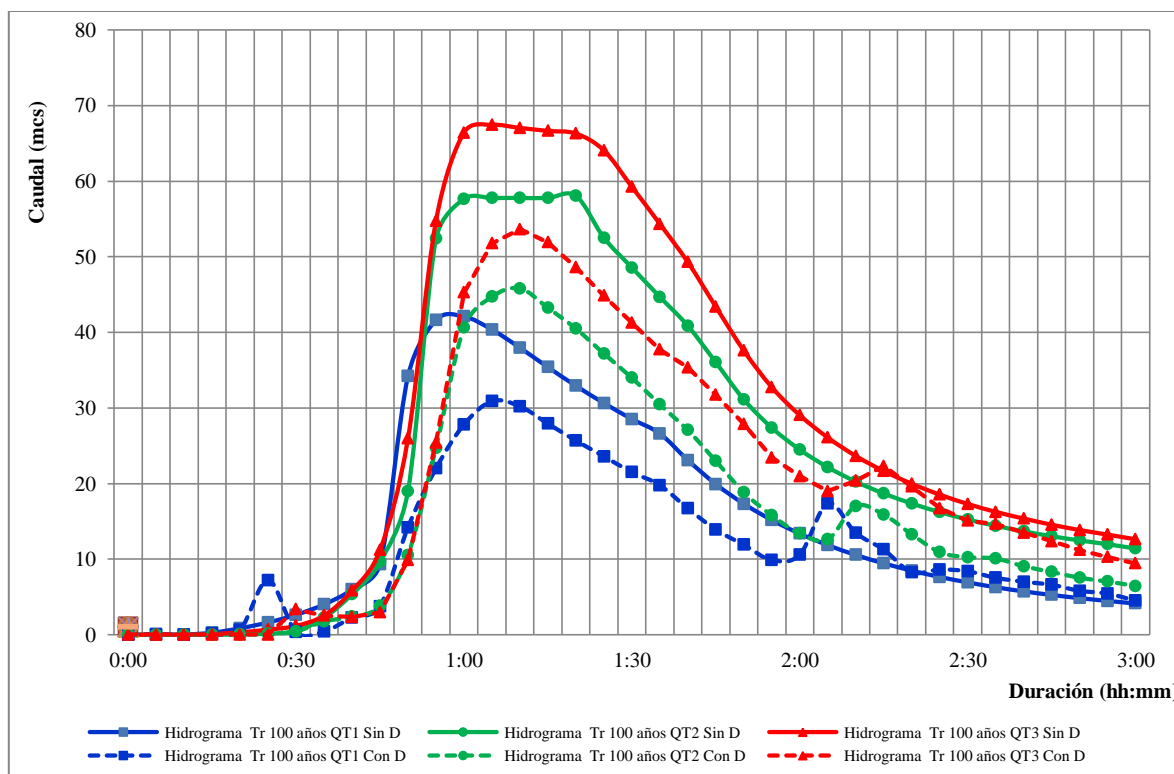


Figura 73. Hidrogramas con y sin tanque. Tr 100 años

Los hidrogramas anteriores y en general los resultados arrojados por el modelo EPA-SWMM, corridos con tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años, con la inclusión de los tanques anteriormente descritos, muestran una notoria disminución de los caudales que ingresan, tanto al tramo 1 del canal, por donde transitan los caudales aportados por las subcuencas S1 y S2, como a las confluencias de las carreras 5 y 4 con el canal de la calle 44 (caudales aportados por la subcuenca S3 y S4 respectivamente), ajustándose a los valores o consideraciones interpuestas en el modelo, de ingresar los caudales menores o iguales a los de su diseño y almacenar los que estén por encima de los permitidos por el canal en cada tramo. Al igual que la alternativa 1, estos resultados serán analizados a continuación.

## **Análisis de resultados de alternativas**

### **8.1 Análisis de la alternativa 1**

A la glorieta del terminal de transporte de Valledupar están llegando caudales entre los 17.51 y los 47.46 m<sup>3</sup>/s con tiempos de retorno de 5 y 100 años respectivamente, encontrándose que los caudales mayores o iguales a los estimados con tiempos de retorno de 25 años (30.13 m<sup>3</sup>/s), superan a los de diseño el canal de la calle 44 en su tramo inicial (27.89 m<sup>3</sup>/s), presentándose desbordes del canal e inundaciones de sus áreas vecinas, tal como lo muestra el modelo en EPA-SWMM desarrollado.

Cuando se incluyó el tanque de almacenamiento temporal, el cual alcanzó un volumen de unos 23,250 m<sup>3</sup> en el modelo, el caudal con tiempos de retorno de 25 años mostró una reducción del 43.8%, disminuyendo de 30.13 a 16.93 m<sup>3</sup>/s. Así mismo se presentan reducciones del 39.3% y 34.9%, pasando de 38.02 a 23.09 m<sup>3</sup>/s y de 47.46 a 30.89 m<sup>3</sup>/s con tiempos de retorno de 50 y 100 años respectivamente.

Cuando se incluye un tanque en la glorieta del terminal, los caudales que ingresen al canal, en su tramo inicial, son menores a los que realmente éste puede soportar, garantizando que no habrá desborde, represamientos y/o inundaciones, al menos entre esta glorieta y la carrera 5, esto es, el mayor caudal que entraría al canal de la calle 44 en sus inicios, es de 30.89 m<sup>3</sup>/s (con Tr 100 años), un poco mayor que los 27.89 m<sup>3</sup>/s que puede soportar este canal según su diseño; pero siendo que éste presenta un borde libre de 0.50 cm, se deduce que este caudal de ingreso es perfectamente soportable por el canal en mención. Lo anterior denota que la sola inclusión de un tanque en el sitio adecuado de la

subcuenca, permite la reducción de sus caudales a valores por debajo de los estimados con Tr 25 años.

El mismo modelo corrido con Tr 25, 50 y 100 años muestra que posterior a la entrada de los caudales de la carrera 5 se sigue presentando problemas de sobre nivel y desbordes que represan los caudales que por ahí entran y generan inundaciones en algunos barrios de la subcuenca 3, tales como Los Mayales, Las Américas y Panamá.

Sin la inclusión de tanques en las subcuencas S3 y S4, los máximos caudales para períodos de retorno de 25 años que transitan por el tramo 2 (entre carreras 5 y 4) son de  $49.77 \text{ m}^3/\text{s}$  y por el tramo 3 (entre carreras 4 y el río Guatapurí) son de  $60.87 \text{ m}^3/\text{s}$  superiores a sus caudales de diseño en un 20.76 y 3.58% respectivamente. Para retornos de 50 años los caudales que transitan por esos tramos son de  $57.77$  y  $66.63 \text{ m}^3/\text{s}$  superiores en un 31.73 y 11.92% respectivamente, y con retornos de 100 años los caudales de tránsito por el tramo 2 son de  $57.78 \text{ m}^3/\text{s}$  y por el tramo 3 son de  $67.45 \text{ m}^3/\text{s}$ , mayores en todos los casos a los caudales de diseño y tránsito del canal de la calle 44 en esos tramos, en un 31.74 y 12.99% respectivamente.

En síntesis, el tanque en la glorieta del terminal mejora las condiciones del canal solo en el tramo comprendido entre ésta y la carrera 5, razón por la cual se hizo necesario la inclusión y modelado de nuevos tanques en las subcuencas S3 y S4.

## **8.2 Análisis de la alternativa 2**

En esta alternativa se consideraron cinco tanques, cuyos volúmenes se determinaron por ensayo-error dentro del modelo hidrológico-hidráulico de EPA-SWMM, con la inclusión de una curva funcional de la geometría del tanque, que permitió llevar los



caudales a los valores requeridos. La Tabla 64 muestra los diferentes volúmenes de los tanques arrojados por EPA-SWMM, en función de su tiempo de retorno.

Tabla 64. Volúmenes de tanque respecto al tiempo de retorno

| Tanque No | A     | Nivel | B | C     | Area =<br>$A \cdot \text{Nivel}^B + C$ | Volumen EPA-SWMM |            |             |
|-----------|-------|-------|---|-------|--|------------------|------------|-------------|
|           |       |       |   |       |  | Tr 25 años       | Tr 50 años | Tr 100 años |
| T1        | 800   | 3     | 2 | 800   | 8,000                                  | 20,950           | 21,409     | 23,250      |
| T2        | 100   | 2     | 2 | 200   | 600                                    | 2,400            | 2,400      | 2,400       |
| T3        | 900   | 3     | 2 | 900   | 9,000                                  | 8,000            | 11,825     | 12,000      |
| T4        | 1,000 | 3     | 2 | 1,000 | 10,000                                 | 8,950            | 11,169     | 12,000      |
| T5        | 1,200 | 3     | 2 | 2,200 | 13,000                                 | 13,283           | 16,535     | 17,400      |

Esta alternativa mostró que con el uso de tanques en sitios estratégicos de las subcuencas, hubo reducción considerable de los flujos que llegan y transitan por el canal de la calle 44, ajustando éstos a valores por debajo de los de su diseño y construcción, incluso con aquellos caudales con tiempos de retorno de 100 años.

Los resultados arrojados por esta alternativa, revelan los valores presentados en la Tabla 65 a continuación.

Tabla 65. Reducción de caudales con tanques en todas las subcuencas

| Variable               | Sin Depósito |            |            | Con Depósito |            |            |
|------------------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|
|                        | Q T1 Sin D   | Q T2 Sin D | Q T3 Sin D | Q T1 Con D   | Q T2 Con D | Q T3 Con D |
| Hidrograma Tr 25 años  |              |            |            |              |            |            |
| Maximo Q               | 30.13        | 49.77      | 60.87      | 16.93        | 27.39      | 33.02      |
| Disminución de Q       |              |            |            | 13.20        | 22.38      | 27.85      |
| Reducción porcentual   |              |            |            | 43.8%        | 45.0%      | 45.8%      |
| Hidrograma Tr 50 años  |              |            |            |              |            |            |
| Maximo Q               | 38.02        | 57.77      | 66.63      | 23.09        | 35.97      | 41.51      |
| Disminución de Q       |              |            |            | 14.93        | 21.80      | 25.12      |
| Reducción porcentual   |              |            |            | 39.3%        | 37.7%      | 37.7%      |
| Hidrograma Tr 100 años |              |            |            |              |            |            |
| Maximo Q               | 47.46        | 57.78      | 67.45      | 30.89        | 45.81      | 53.65      |
| Disminución de Q       |              |            |            | 16.57        | 11.97      | 13.80      |
| Reducción porcentual   |              |            |            | 34.9%        | 20.7%      | 20.5%      |

Con períodos de retorno de 25 años, el tramo 1 pasó de 30.13 a 16.93 m<sup>3</sup>/s, el tramo 2 de 49.77 a 27.39 m<sup>3</sup>/s y el tramo 3 de 60.87 a 33.02 m<sup>3</sup>/s, es decir reducciones del 43.8%, 45.0% y 45.8% respectivamente. Con períodos de retorno de 50 años, el tramo 1 pasó de 38.02 a 23.09 m<sup>3</sup>/s, el tramo 2 de 57.77 a 35.97 m<sup>3</sup>/s y el tramo 3 de 66.63 a 41.51 m<sup>3</sup>/s, es decir reducciones del 39.3%, 37.7% y 37.0% respectivamente y con periodos de retorno de 100 años, el tramo 1 pasó de 47.46 a 30.89 m<sup>3</sup>/s, el tramo 2 de 57.78 a 45.81 m<sup>3</sup>/s y el tramo 3 de 67.45 a 53.65 m<sup>3</sup>/s, es decir reducciones del 34.9%, 20.7% y 20.5% respectivamente. Caudales menores en todos los casos a los de diseño del canal de la calle 44.

Es evidente la reducción de caudal, aun cuando se tenga que hacer inversiones en tanques de almacenamiento, pero siendo que éstos no serán construidos en concreto, sino con celdas plásticas, los costes de instalación y mantenimiento siempre serán más bajo que el de un gran canal, que al final, generará una gran brecha en la ciudad y que se convierte en sinónimo de peligro e inseguridad, tanto para transeúntes y habitantes del sector, como para la infraestructura a su alrededor. No significa esto que los canales o colectores no sean necesarios para conducir y evacuar las aguas de drenaje en las épocas de lluvia, sino que estas obras hidráulicas necesariamente deberían complementarse con el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS, para que permitan minimizar los impactos, no solo sobre la ciudad y sus habitantes, sino sobre el ambiente en general.

Estos resultados muestran entonces, que es posible reducir significativamente los caudales que llegan a los puntos de concentración de un canal o fuente receptora, con tanques distribuidos en toda la cuenca urbana, los cuales se constituyen en obras hidráulicas sencillas y de bajo coste, que permiten dividir las descargas y almacenar los excesos

durante el intervalo de tiempo en que ocurran las grandes avenidas. La desventaja estaría en no poder contar con las área o espacios públicos lo suficientemente amplios que permitan su construcción; pero siempre se podrá contar con una glorieta, un parque o un lote público donde se pueda construí este tipo de tipología.

## Conclusiones

El uso de tanques en sitios estratégicos de la cuenca urbana que drena hacia el sector suroriental de Valledupar, permite la reducción considerable de los caudales que llegan hasta el canal de la calle 44, disminuyendo los riesgos de inundación en las áreas circunvecinas al canal; claro está que la reducción de los máximos caudales no sólo dependerá de la capacidad de almacenamiento de los tanques considerados en el presente estudio, sino de la operación de mantenimiento y descarga de los tanques y en general de su gestión en el tiempo.

El uso de un solo tanque ubicado en la glorieta del terminal de transporte, permitió que los caudales entre este sitio y la carrera 5, fueran menores a los de diseño del canal y en general menores a los que realmente puede transportar éste, permitiendo reducciones del 15.7%, 28.54% y 43.40%, con tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente. Sin la inclusión de tanques en las subcuencas S3 y S4, los caudales máximos que transitan por el tramo 2 entre las carreras 5 y 4 y por el tramo 3 entre la carrera 4 y el río Guatapurí, serán en todos los casos, mayores, a los caudales de diseño y tránsito del canal de la calle 44 en esos tramos.

Tanques en diferentes sitios de la cuenca permitieron reducir todos los caudales a valores por debajo de los de diseño del canal de la calle 44, encontrando reducciones del 51.70%, 51.80% y 50.30% respectivamente con períodos de retorno de 25 años, del 48.10%, 37.70% y 38.20% respectivamente con períodos de retorno de 50 años y

reducciones del 34.90%, 20.70% y 20.30% con periodos de retorno de 100 años respectivamente.

En general es posible reducir significativamente los caudales que llegan a los puntos de concentración del canal de la calle 44, con tanques distribuidos en toda la cuenca urbana, los cuales se constituyen en obras hidráulicas sencillas y de bajo coste, que permiten dividir las descargas y almacenar los flujos máximos durante el intervalo de tiempo en que ocurran las grandes avenidas.

Los tanques de almacenamiento de las aguas de lluvia, deberán ubicarse en plazoletas, glorietas y en general en zonas públicas, es decir, dentro de sitios estratégicos de la cuenca, que una vez contruidos permitan cumplir con los objetivos propuestos y garanticen a futuro el normal desarrollo y movilidad de la ciudad. Estos grandes tanques pueden ser remplazados por un número equivalente de pequeños tanques dentro de las subcuencas o incluso más pequeños en cada una de sus viviendas.

### Referencias bibliográficas

Alcaldía de Valledupar – Cesar. (2017) Sitio web Oficial de Valledupar en Colombia. Indicadores de población.

Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente SDA. (2011). “Sistemas urbanos de drenaje sostenible”. Bogotá D.C. Colombia.

Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del ayuntamiento de Madrid. (2009). “Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid. Criterios bioclimáticos y de eficiencia energética”. Madrid. España.

Avila, H. Avila, L. Sisa, A. (2016). “Dispersed Storage as Stormwater Runoff Control in Consolidated Urban Watersheds with Flash Flood Risk”. ASCE

Banco Mundial. (2016). “Población urbana (% del total)”. Recuperado: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?view=map>

Chow Ven Te. (1990). “Hidráulica de los canales abiertos”. México D.F, México: Ed. Diana.

Chow Ven Te, Maidment David R, Mays Larry W. (1994). “Hidrología aplicada”. Bogotá D.C, Colombia: Ed. McGraw-Hill.

EPA-SWMM. (2005) “Modelo de Gestión de Aguas Pluviales 5.0 vE, Manual del Usuario”. GMMF

- Ferrer, M. Rodríguez, J. Estrela, T (1995). “Generación automática del Número de Curva, con Sistemas de Información Geográfica”. Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX, MOPTMA. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Gobernación del Cesar. Consorcio Riego Guatapurí. (2007). Contrato de consultoría 415-2007. “Revisión, actualización y complementación del estudio de factibilidad y primera fase de los diseños detallados del proyecto de adecuación de tierras de Valledupar”. Valledupar, Cesar, Colombia.
- Ibarra A, S. Moreno, H. Gisbert B, J. “Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica”. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Incora - Tahal Consulting Engineers. (1969). “Estudios de factibilidad de los proyectos de riego Valledupar y San Juan del Cesar”. Valledupar, Cesar, Colombia.
- Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías (2009), “Manual de Drenaje para Carretera”. Bogotá D.C, Colombia.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). “Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Bogotá D.C, Colombia.
- Martínez C., Geinner. (2013). “Sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS como alternativa de control y regulación de las aguas de lluvias en la ciudad de Palmira”. (Trabajo de grado par optar el título de ingeniero civil). Universidad militar Nueva Granada. Bogotá D.C.

Pizarro T, R. Flores V, J. Sangüesa P, C. Martínez A. E. “Curva Intensidad Duración Frecuencia. Módulo 2” Sociedad de Estándares de Ingenierías de Aguas y Suelos Ltda.

Rodríguez B. J, Rodríguez H. J, Ullate F. E, Castro F. D. (2008) “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS”. Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Santander. Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción GITECO. Universidad de Cantabria. España

Rodríguez Ruíz, P (2008), “Hidráulica II”. México D.F. México. Recuperado de:  
<https://es.slideshare.net/CarlosPajuelo/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez>.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Hidrología>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Hidráulica>

[www.hidrojing.com](http://www.hidrojing.com)